

SUELOS SOBRE DUNAS FIJAS Y AREAS DE
DEPRESION INTERDUNARES DEL COTO DE
DOÑANA (HUELVA - ESPAÑA) .

por

José Pena Vélez
Ing. Agr.

Trabajo monográfico realizado
Por el Ing. Agr. José Pena
Vélez, participante del XV Cur
so para Postgraduados de Eda-
fología y Biología Vegetal, ba
jo la dirección del Dr. D. Cle
mente Baños Moreno y la Lcda.
D^a M^a Ayerbe Sales, del Centro
de Edafología y Biología Apli
cada del Cuarto - C.S.I.C.

Sevilla, Julio de 1978

Mi gratitud al Dr. Clemente Baños Moreno y a la Lcda. M^a Ayerbe Sales, por la dirección y ayuda en la realización de este trabajo.

Al Dr. Luis Clemente Salas y al Sr. Juan Antonio Moreno, por la colaboración prestada.

A los Dres. D. Manuel Lachica y D. José Martín Aranda, Director y Vicedirector del Curso, respectivamente.

Al Prof. Dr. D. Manuel Chaves Sánchez, Director del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto.

Al resto del personal científico y técnico de la Sección de Fertilidad que contribuyó, directa o indirectamente, en la conclusión del mismo.

A la Srta. Maria de las Mercedes García Orgaz, por su trabajo de mecanografía.

INDICE

	Pág.

I. INTRODUCCION	1
ESTABILIDAD DE LOS MINERALES: SU FRECUENCIA Y ABUNDANCIA	7
INCLUSIONES	12
MINERALES ALOGENOS Y AUTIGENOS	14
II. METODOLOGIA	16
METODOS MORFOLOGICOS	17
MICROSCOPIA Y CRITERIOS PARA EL ESTUDIO MICRO- MORFOLOGICO	20
MINERALOGIA DE ARENAS: MORFOSCOPIA E IDENTIFI- CACION MICROMINERALOGICA	22
ESTUDIO DE MATERIALES	30
DETERMINACION DE MINERALES	33

	Pág.

ANALISIS DE PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO. .	36
DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO	39
III. FACTORES ECOLOGICOS	40
CLIMATOLOGIA	42
GEOLOGIA - GEOMORFOLOGIA	43
IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION GENERAL	47
ESTUDIO MICROMORFOLOGICO	53
ANALISIS MICROMINERALOGICO DE ARENAS	56
RESULTADOS FISICO - QUIMICOS	62
V. BIBLIOGRAFIA	71

I. INTRODUCCION

Es objetivo del presente estudio conocer la influencia y transformaciones de los materiales originarios, en la formación de los suelos desarrollados sobre dunas fijas del Coto de Doñana en la costa de Huelva (España), así como las condiciones ambientales que la precedieron.

El trabajo incluye el reconocimiento de la geomorfología de la zona, el estudio morfológico del perfil del suelo y la determinación de características fisico-químicas, poniéndose especial interés en el conocimiento de la micromineralogía de arenas y micromorfología general, por estimarse que los resultados pueden ser de extraordinario valor orientados hacia la génesis, sistemática y aplicaciones del suelo.

Como es bien sabido, hasta muy recientemente los materiales del Cuaternario han recibido escasa atención, por lo que, en líneas generales, son los menos conocidos científicamente. Por otro lado, dichos materiales presentan, para su estudio, dificultades de todo orden, en especial por la enorme interacción de factores que han actuado sobre ellos.

Siguiendo el orden generalmente establecido en las investigaciones edafológicas, se comienza por el estudio del pedón (Soil Survey Staff, 1967-1975), que es el volumen más pequeño

que puede reconocerse como individuo suelo; la sección vertical del pedón es el perfil del suelo, constituido por los horizontes. Una lámina delgada es una muestra representativa de un horizonte; en esta lámina delgada para el estudio micromorfológico, la unidad básica descriptiva es la S-matriz, considerada como el material dentro de los agregados más simples (primarios), o el material que constituye un suelo sin agregados, en el que se presentan las características o rasgos edáficos; consta de plasma, granos del esqueleto y huecos, que no se encuentran en otras separaciones edáficas específicas (Brewer, 1964) (Fig. 1). Así pues, plasma, granos del esqueleto y huecos son los tres componentes básicos de la S-matriz del suelo; los rasgos edáficos son el resultado de una específica combinación o disposición de uno o más de los componentes. Según distintas distribuciones entre sí de los citados componentes básicos, resultan diferentes patrones de distribución relacionada.

Del análisis de la contextura de la s-matriz se obtiene valiosa información sobre muchos problemas edafológicos. Por ello, los estudios micromorfológicos constituyen, en la actualidad, una base imprescindible a la hora de conocer la organización íntima de los suelos y los procesos de su evolución, ya que no sólo se estudian microscópicamente sus constituyentes en el aspecto descriptivo, sino también, y esto es fundamental, las leyes y procesos que originan las formas de estos constituyentes y sus ordenaciones. Por ello, la observación de los componentes del suelo y su organización marcan una nueva fase en los estudios edafológicos, puesto que los constituyentes más importantes y los fenómenos más decisivos se encuentran a nivel microscópico.

A este respecto, en el presente estudio se han tomado en consideración conceptos de la bibliografía moderna relativa al plasma y a su distribución, que en parte difieren de los de Kubiena (1938) y Brewer (1964), aunque en líneas generales son concordantes. Se alcanza así una mejor comprensión de determinados fenómenos y matrices típicas no definidas por di-

chos autores.

Siguiendo las ideas de Kubiena (1938), el plasma se considera como la fracción coloidal del suelo, mineral u orgánica; es la más activa del material suelo, con capacidad de reorganización, translocación y neoformación. Por ello, en "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 1975) los suelos se clasifican, en gran medida, en base a la actividad del plasma o por características adquiridas en función de un específico comportamiento del mismo. Así, en el horizonte óxico la actividad química es baja (tipo de plasma); en el horizonte argílico el plasma se acumula por traslocación; en el albico se eluvia, y en el espódico se acumula una específica clase de plasma. Estos horizontes diagnósticos caracterizan determinadas categorías de suelos. Lo anterior avala el que, en la elección de parámetros micromorfológicos como indicadores de edafogénesis, los estudios sobre el plasma, así como los patrones de distribución relacionada, tengan una gran importancia (Eswaran y Baños, 1975).

Se introduce también, en el presente trabajo, el concepto de equilibrio dinámico aplicado al suelo, que se deriva de los primeros estudios sobre génesis, al tener presente los factores de formación (Jenny, 1935 - 41 - 61) y las propiedades adquiridas por el suelo como reflejo de la participación de aquellos. En los últimos años el esquema se ha ampliado con el estudio de los procesos edafogenéticos. De la forma simple:

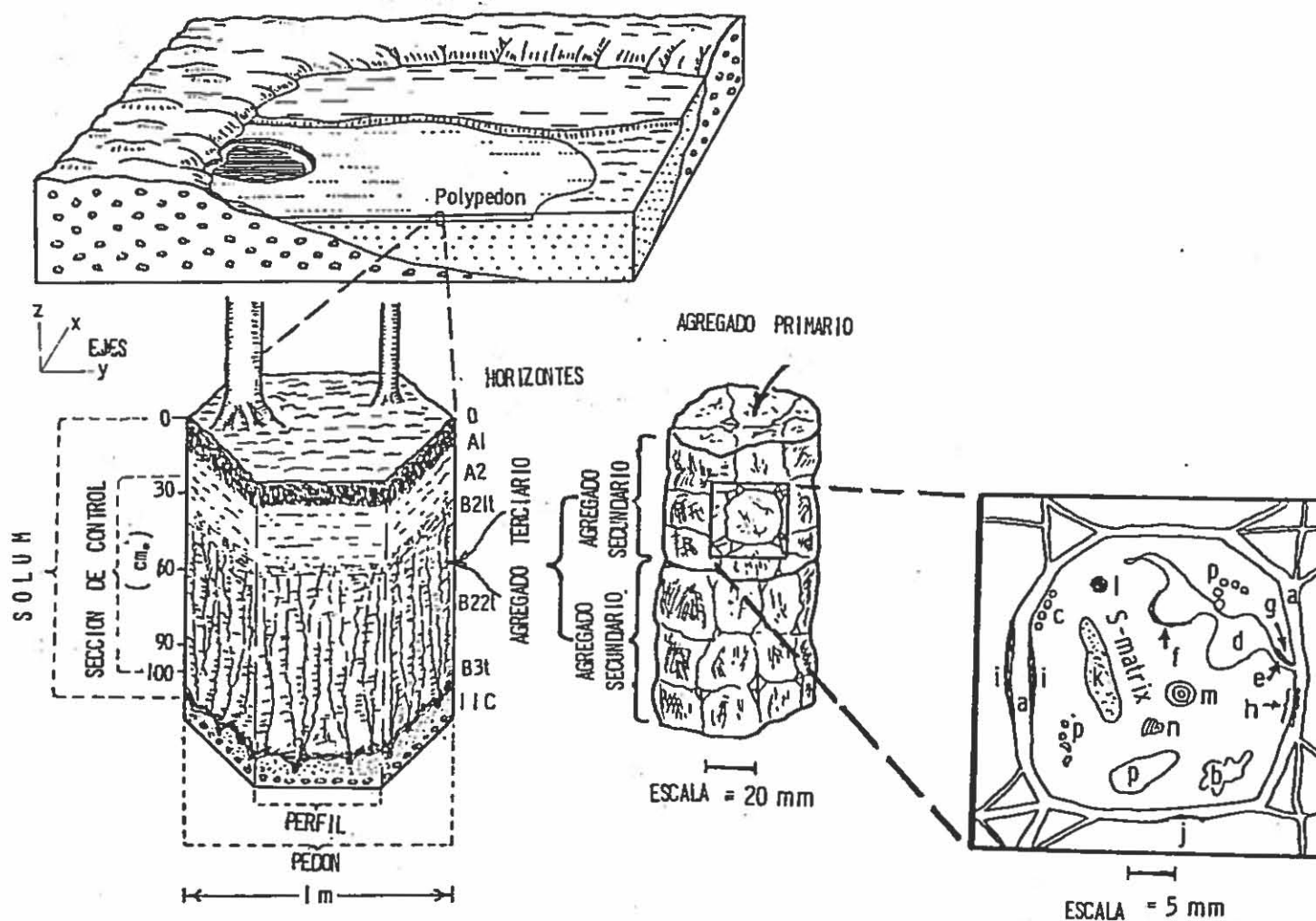
Factores ecológicos ----> Propiedades del suelo

se ha pasado a la más completa:

Factores ecológicos --> Procesos genéticos --> Propiedades

En definitiva, estos procesos son los responsables de las propiedades que los suelos adquieren en su génesis y evolución (Mückenhausen, 1954).

MORFOLOGIA DEL SUELO



a) Macromorfología

b) Micromorfología

Huecos: a, huecos de empaquetamiento; b, cavidad; c, vesículas; d, cámara; e, canales. Cutanes: f, cután de cámara; g, cután de canal; h, esqueletanos; i, argillanes o sesquanes; j, cután de presión. Otras características: k, pedotúbulos; l, nódulos; m, concreción; n, pápula.

Debe notarse que la S-Matriz es la masa de plasma, granos del esqueleto (p), y los huecos.

Fig. 1

Los procesos generales de la génesis y evolución del suelo pueden resumirse en tres: alteración progresiva de la roca madre, aumento del contenido de materia orgánica y desplazamientos de elementos solubles y coloidales de un punto a otro del perfil (Duchaufour, 1970). Coincidiendo, en líneas generales, con este esquema, para otros autores, los procesos generales de la formación del suelo son: desintegración física, que se traduce en una disminución del tamaño de las partículas, lo cual facilita el posterior ataque químico; ataque químico y procesos bioquímicos, que consiguen cambios en la composición química del material originario, mediante hidratación, oxido-reducción, hidrólisis, etc.; y transporte-acumulación de sustancias. El proceso de formación del suelo continúa a la vez y posterior al ataque químico, por la acción de los factores ecológicos, produciendo una serie de movilizaciones y acumulaciones de sustancias; acumulaciones reales, por aporte de compuestos lavados desde otros horizontes (materia húmica, sílice, hierro, etc.), o acumulaciones relativas, por lavado de sustancias dentro del mismo horizonte (Hoyos, 1964).

ESTABILIDAD DE LOS MINERALES : SU FRECUENCIA Y ABUNDANCIA.

Debido a la acción de los agentes físicos, químicos y biológicos, que actúan sobre las rocas eruptivas y metamórficas, se provoca la destrucción de esa roca primitiva, que mediante la sedimentación de esos residuos, se forman las rocas sedimentarias. La acción de los agentes erosivos puede actuar incluso durante el período de sedimentación y transporte, dando lugar a diferentes modificaciones y alteraciones.

La acción física fragmenta la roca en pedazos cada vez más pequeños, que provocan modificaciones sin alterar la composición química de los diferentes minerales; esta destrucción aumenta la superficie y favorece en consecuencia el ataque químico. La erosión física es tanto más intensa cuanto mayor sea la diferencia térmica y la sequedad del ambiente, mientras que las acciones químicas son más manifiestas cuanto mayor sea el grado de humedad, influyendo también favorablemente la disgregación, la temperatura, el tiempo de acción, la acidez y la presencia de microorganismos.

Entre los procesos endocinéticos que originan la rotura de las rocas, los principales son: la dilatación por insolación, según los distintos coeficientes de los minerales constitutivos y la contracción por enfriamiento que origina la rotura; también favorece esta fractura la formación de hidratos con el consiguiente aumento de volumen por tensiones interiores. En los procesos exocinéticos: el aumento de volumen por la acción capilar del agua, la contracción por sequedad, y los de óxido-reducción en los minerales que contienen hierro en su molécula (augita, hiperstena, biotita, etc.), provocan un relajamiento de la red cristalina por hidratación, ya que el oxígeno se une al hierro divalente, originándose así nuevas combinaciones que contribuyen a la alteración del mineral y su desmoronamiento.

Por todo esto se comprende que la situación geográfica de las rocas tienen gran relación con los procesos que influ

yen en la estabilidad de minerales y rocas, ya que depende, en parte, del clima.

Numerosos investigadores han llevado a cabo, en el laboratorio, trabajos experimentales sobre la estabilidad frente a la alteración de diferentes rocas y minerales, teniendo en cuenta los factores que influyen sobre ellos en la naturaleza, siendo numerosa la bibliografía que sobre este tema se acumula.

La estabilidad de los minerales no depende solamente de las causas externas, sino de su propia constitución química o red cristalina.

Las acciones postdeposicionales sobre los granos minerales en los sedimentos tienen numerosas pruebas; así, el grabado que presenta el granate en su superficie es un rasgo característico, lo mismo que el borde astillado o mellado en otros minerales, como los piroxenos, anfíboles, etc., son rasgos atribuidos a la descomposición y solución después de la deposición de materiales, más que al desgaste por transporte y aún a crecimientos secundarios. (Edelman describió los fenómenos de solución en augitas y hornblendas. 1932).

Con arreglo a la estabilidad J. Pérez Mateos, expone como orientación general una ordenación de los minerales de la fracción más densa de la arena, que es la fracción gruesa de los sedimentos, en relación de su mayor a menor estabilidad, según el siguiente orden:

- | | | |
|---------------------|---|----------------------------------|
| I. Resistentes. . . | { | Rutilo
Circón |
| II. Estables . . . | { | Turmalina
Anatasa
Broquita |

III. Bastante estables. { Granate
 { Biotita
 { Apatito
 { Ilmenita
 { Magnetita
 { Estauroлита
 { Monacita
 { Distena

IV. Menos estables { Epidota
 { Hornblenda común
 { Andalucita
 { Topacio
 { Titanita

V. Poco estables { Hornblenda parda
 { Augita
 { Silimanita
 { Hiperstena
 { Diópsido
 { Olivino

El olivino sólo se encuentra en sedimentos modernos, debido a su poca estabilidad, y, en general, los silicatos ferromagnesianos no sobreviven más que un ciclo de sedimentación, siendo reemplazados por sus productos de alteración.

En cuanto a la frecuencia y abundancia de estos minerales en los sedimentos, existen grandes diferencias: así, el circón y la turmalina son muy frecuentes y abundantes, mientras que el rutilo, resistente como aquéllos, es frecuente, pero no abundante. Todos ellos son considerados minerales comunes por su presencia casi constante en los sedimentos. La anatasa y la broquita, también estables, son mucho menos frecuentes y abundantes que aquéllos; todos ellos son minerales resistentes o estables que perduran durante varios ciclos de sedimentación.

Como especies de relativa frecuencia y abundancia se cita el granate (que en ocasiones tipifica ciertos perfiles, siendo la variedad almandino la más común), y también las especies propias del metamorfismo: estaurolita, andalucita y silimanita.

De carácter local son las especies minerales: epidota, zoisita, augita, diópsido, hornblenda y glaucofana. Muy localizados: monacita, topacio, distena, hiperstena y olivino, que pueden encontrarse en los sedimentos con relativa abundancia o totalmente ausentes.

La titanita o esfena es bastante frecuente, pero sin llegar a ser abundante, solamente cuando por su formación sea autógena, formándose a partir de ilmenita y magnetita titaníferas; estas últimas especies minerales, opacas, son relativamente frecuentes y abundantes; la ilmenita lo es en arenas negras, asociada a la magnetita, y como producto de descomposición y arrastre de gabros, noritas, dioritas, etc.; la magnetita es menos frecuente que la ilmenita, aunque también puede llegar a encontrarse abundante en sedimentos de origen volcánico, derivada de basaltos y de otras rocas efusivas.

Entre los minerales ligeros de la fracción arena, el cuarzo es la especie más frecuente y abundante, hasta el extremo de tomarse vulgarmente el término arena como sinónimo de cuarzo arenoso; es realmente la especie mineral común por excelencia.

De los feldespatos, la ortosa es, entre los potásicos, el más frecuente y abundante; la microclina lo es con cierta relatividad, y en cuanto a los feldespatos calco-sódicos, la andesita es muy común, y relativamente común la oligoclasa, mientras que los términos extremos de la serie albita y anortita son poco frecuentes, así como también la labradorita.

En cuanto a la morfología de los granos minerales, se plantea que la forma de un grano de arena transportado por el

agua y por el viento, es el cabo de su historia, y la forma que observamos cuando le conocemos, podríamos tomarla como la expresión de su biografía. Los granos jóvenes, recién independizados, conservan su forma cristalina como la tuvieron en la roca madre, o si llegan en fragmentos al depósito su forma será angulosa e irregular; otros aparecerán redondeados, sin que signifique su redondeamiento, esfericidad, sino tiempo de vida o transporte prolongado que las hace mostrarse aparentemente viejos por las acciones erosivas que han sufrido.

Las formas oblongas u ovoideas de algunos granos se pueden atribuir a la forma original del cristal o del fragmento. Influye mucho en la morfología del grano el tamaño primitivo, pues cuanto más pequeños fueren menos sufrirán la acción de la erosión.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que en cuestiones de morfología todo es relativo, ya que un grano quebrado y anguloso puede provenir de otro redondeado que ha vuelto a entrar en el ciclo de erosión con aquel carácter de un redondeamiento adquirido en otras circunstancias de su vida y su forma actual podría ser un rejuvenecimiento y no signo de una juventud real.

INCLUSIONES

Son de interés también las inclusiones que pueden aparecer en los granos minerales, los cuales permiten sugerencias respecto a su transporte y procedencia; influyen negativamente en la técnica de separación de fracciones, pues en granos de pesos específicos muy próximos entre sí no se llega a la exactitud deseada de separación por la presencia de las inclusiones que alteran el valor de su peso específico.

En las especies minerales propias del metamorfismo : estaurolita, distena, andalucita y silimanita, son frecuentes las inclusiones carbonosas o grafitosas que pueden llegar a oscurecer el grano transparente por su profusión, como así ocurre en las estaurolitas de arrastre de los arroyos y arroyuelos de Montejo de la Sierra (Somosierra, Madrid). En ocasiones pueden aparecer los granos como porosos debido a oquedades que dejaron las inclusiones. También estas inclusiones carbonosas pueden estar simétricamente distribuídas como en la variedad quiaistolita de la andalucita.

Las finas agujas de rutilo son una de las más frecuentes inclusiones en los granos minerales, principalmente en el cuarzo, turmalina, micas, etc. También el circón aparece como inclusión en láminas de mica, en el apatito y en alguna otra especie mineral.

El topacio presenta frecuentemente inclusiones fluídas, y también el apatito; el circón no sólo es rico en inclusiones líquidas y gaseosas, sino también en cristalinas, siendo las más frecuentes de apatito y xenotina.

Los granos de hiperstena poseen a menudo como inclusión, minúsculas partecillas de TiO_2 y FeO_2 que originan su característico "bronceado"; por igual motivo, presenta este brillo la broncita (mineral opaco). Otros piroxenos (augita, diópsido) incluyen magnetita en minúsculos granillos, e ilmenita. El

olivino también presenta inclusiones abundantes de magnetita, y, en general, los minerales del grupo de los anfíboles.

La anatasa es un mineral rico en inclusiones variadas, de cuarzo, turmalina, rutilo, circón, casiterita y material ferruginoso.

Las inclusiones, en general, pueden estar en los granos minerales irregularmente distribuidas o seguir una dirección en su distribución como, por ejemplo, son observadas en los cristales de circón inclusiones orientadas según el eje vertical.

MINERALES ALOGENOS Y AUTIGENOS.

Entre los componentes minerales que forman parte de las rocas sedimentarias hay que distinguir los alóctonos o alógenos, propiamente detríticos, que fueron incorporados por aporte a los sedimentos, y los autóctonos o autígenos, que se formaron al mismo tiempo o subsiguientemente al depósito de los materiales sedimentados y en el seno del propio sedimento.

Se conocen gran número de minerales autígenos, siendo los más comunes la sílice (incluyendo el cuarzo y la calcedonia); calcita, dolomita y siderita entre los Carbonatos, y entre los de este grupo otros menos comunes, como la ankerita, magnesita, aragonito, cerusita, malaquita y azurita. Se forman por autogénesis, entre los Sulfatos, la anhidrita, baritina, celestina y el yeso, y entre los Sulfuros, pirita, marcasita y pirrotina y otras combinaciones sulfuradas de Cu, Pb, Mn, y Zn. Del grupo de los Oxidos e Hidróxidos, los de Ti, Fe, Al, Mg, Mn, y Cu, siendo los principales la ilmenita, el rutilo, la anatasa y broquita (entre los titaníferos), y la magnetita, hematites y goethita entre los de hierro, pero considerando que la magnetita y la goethita son productos de alteración más que minerales propiamente autígenos. Entre los óxidos de cobre y manganeso pueden ser autígenos la cuprita y la pirolusita, respectivamente. En el grupo de las sales solubles, la silvina, carnalita, etc., y el grupo de los fosfatos, específicamente, los de calcio y hierro. Entre los silicatos destacamos como autígenos: feldespatos, cloritas, zeolitas, minerales del grupo de la arcilla y del grupo de la glauconita.

No siempre es fácil diferenciar los minerales detríticos de los propiamente autígenos; así, la calcita puede depositarse simultáneamente con arena silícea, dando areniscas calcáreas o formarse posteriormente y quedar como cemento entre los intersticios de los granos minerales; lo mismo podría decirse de otros procesos, como el de dolomitización, etc. Por esto, la diferenciación a veces, en la roca sedimentaria, de los materiales alógenos y autígenos puede ser arbitraria.

Los minerales autógenos son de gran interés como indicadores pues ellos pueden advertir de las condiciones físico-químicas de un determinado medio o de un cierto cambio físico-químico en el medio sedimentario.

Se consideran también autógenos los crecimientos secundarios que pueden aparecer en cristales de turmalina y anatasa y circón a modo de excrecencias, y más raramente sobre hornblendas y granates.

Algunos minerales comunmente autógenos son estables durante la diagénesis e inestables como detríticos; esto ocurre con los carbonatos: calcita, dolomita y ankerita; lo mismo se comportan los minerales del grupo de las cloritas y algunos sulfurados como la piritita.

En cuanto a estos minerales de las rocas sedimentarias, podemos decir que muchos se forman durante la singénesis, pero más especialmente durante el proceso de diagénesis, o sea, en los cambios que tienen lugar en los materiales depositados por muy diversas influencias. Pueden formarse también durante la epigénesis, o sea, durante los procesos geológicos que puedan tener lugar en la superficie de la Tierra.

Conviene tener presente los ciclos y los procesos de crecimiento de diferentes órdenes por los que pasan las rocas sedimentarias, tan variados, y que llegan a su máxima complicación cuando los materiales sedimentarios sufren metamorfismo.

El estudio completo de una roca sedimentaria estará conseguido cuando hayamos podido reconstruir con los eslabones de los hechos y factores que han intervenido en su formación y desarrollo, la cadena que conduce al estado actual en que el material se encuentra.

II. METODOLOGIA

MÉTODOS MORFOLÓGICOS :

MACROMORFOLOGIA :

Métodos para la descripción de perfiles y clasificación de Suelos.

La descripción morfológica de campo se ha realizado, en líneas generales, según las normas contenidas en el manual "Guía para la descripción de perfiles de suelos", editado por la F.A.O. (1968). Esta guía se basa en gran parte en el Manual de Levantamiento de Suelos de EE.UU. (Soil Survey Staff, 1951-1967) y tiene presente algunas sugerencias de la propuesta de la Sociedad Internacional de Ciencia del Suelo respecto a la diferenciación y designación de los diversos horizontes del perfil (1967).

El suelo estudiado se ha catalogado de acuerdo con la Clasificación Francesa (O.R.S.T.O.M., 1967) y Soil Taxonomy (S.S.S. - USDA, 1975).

MICROMORFOLOGIA :

Preparación de láminas delgadas.

La técnica seguida comienza por la toma de muestras orientadas del perfil, en cajas metálicas especiales de 4 x 8 cm (cajas Kubišna). Una vez secas en estufa a 40°C, para evitar destruir la materia orgánica, se les somete al vacío durante 5 horas, con el fin de desalojar el aire ocluido, dejando gotear a continuación y, a vacío de 50 cm./4 g. de presión, una mezcla de resina de poliéster, tipo Synres 504 y disolvente especial de Monestyrol, agregando como catalizador peróxido de metil-butyl-cetona (Butanox) y como activador Octoato de Cobalto al 1%, todo ello a temperatura de laboratorio, durante 1 - 2 horas de vacío posterior y a esta misma presión.

Fórmula para resina de impregnación :

586 c.c. de resina de poliéster (Synres 504)

410 c.c. de disolvente de Monestyrol

29 c.c. de Catalizador Butanox

4 gotas de Octoato de Cobalto al 1 %.

Una vez polimerizada la resina, cuyo período de endurecimiento suele durar de 5 a 6 semanas al aire, se cortan láminas de 6 - 7 mm. de espesor aproximadamente, con sierra circular de diamante y se pasan a la máquina rectificadora (Klaiber). Posteriormente se desbastan sobre vidrio plano con polvo de carborundum de los números 240 - 320 - 400 - 600, sucesivamente, hasta dejar una superficie perfectamente plana, terminándose la operación de pulimentado en máquina rotativa con pasta de diamante sobre paño de nylon, y posteriormente sobre gamuza.

A continuación se pega con resina de endurecimiento rápido, (48 horas), sobre portaobjetos previamente numerado con la marca de la muestra en el ángulo superior izquierdo, lo que sirve de referencia para determinar la orientación de la preparación con respecto al perfil. Después de endurecida y perfec

tamente pegada, sin que existan burbujas entre "porta" y lámina, se sigue el mismo procedimiento antes descrito, hasta conseguir que la lámina alcance aproximadamente 0,02 - 0,03 mm. de espesor, óptimo para la observación microscópica en nuestra investigación, una vez que ha sido pegado el correspondiente "cubre", con idénticas precauciones.

Fórmula para resina de pegado :

20 c.c. de resina de poliéster (Synres 504)

25 gotas de Catalizador Butanox

2 gotas de Octoato de Cobalto al 1 %

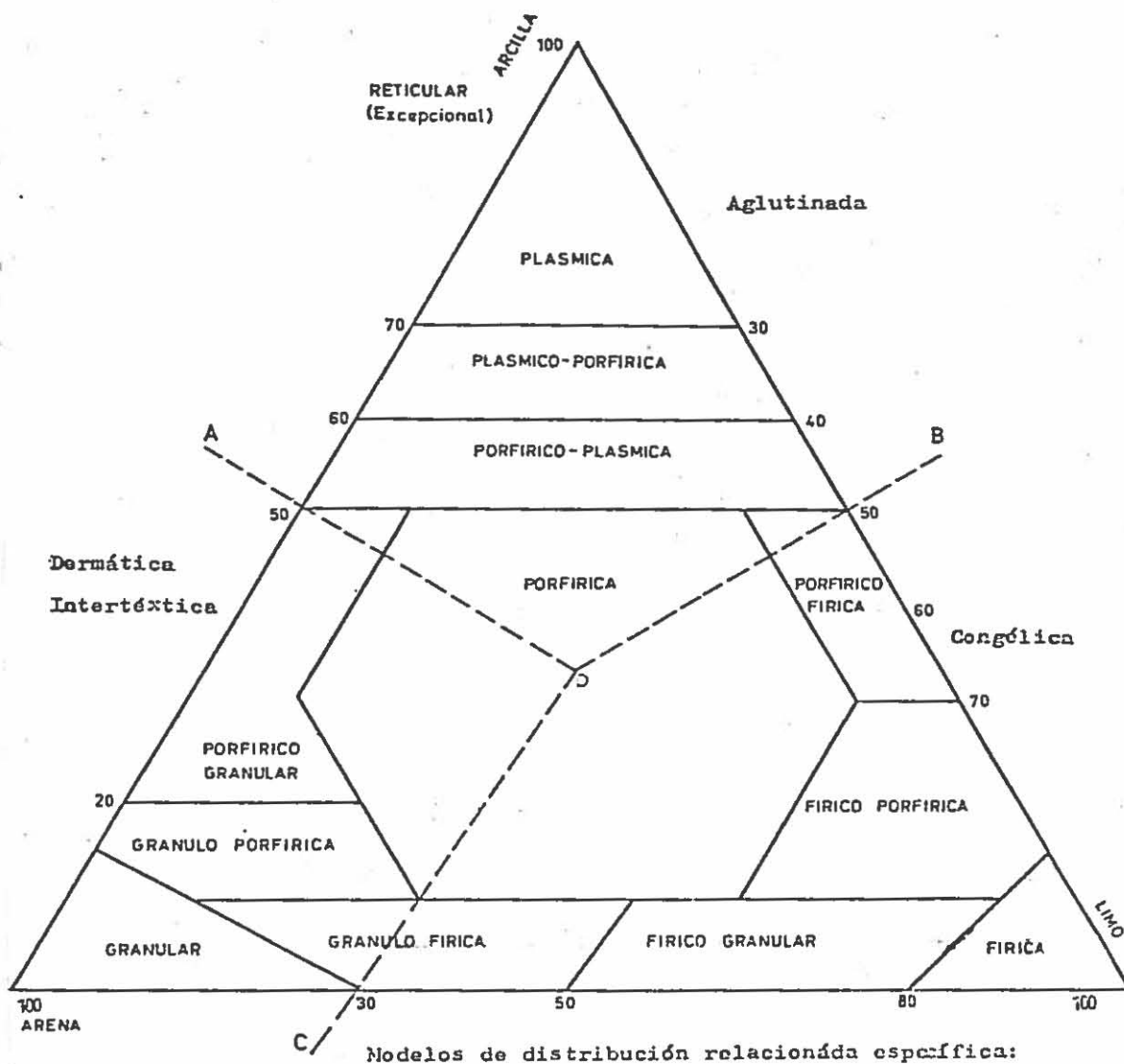
En general se siguen los métodos de impregnación de Altemüller (1962) y Jongerius and Heintzberger (1963) y recopilación de Bouma (1969), con ciertas variantes que se han introducido para un mejor aprovechamiento de los medios de que se disponía, modificando tiempos de vacío y empleando resina tipo Synres 504, como ya se ha indicado.

MICROSCOPIA Y CRITERIOS PARA EL ESTUDIO MICROMORFOLOGICO

Se ha empleado el microscópio petrográfico Zeiss Standar GA con luz transmitida e incidente.

Para la descripción de las observaciones en láminas delgadas se ha utilizado, generalmente, la sistemática de Brewer (1964), excepto para la microestructura en que se sigue a Beckman y Geyger (1967). Con frecuencia se han usado, para la interpretación de resultados, los métodos didácticos de Kubiena (1938 - 1952) con objeto de dar mayor énfasis a la base genética. Así mismo se han aplicado conceptos y normas de la bibliografía moderna en edafografía (Stoops, 1968-1971; Eswaran y Baños, 1975), Fig. 2, y propuestas utilizadas en las últimas reuniones internacionales, juntamente con aportaciones personales, con vistas a conseguir un mejor conocimiento y exposición de los resultados obtenidos. Para la estimación de porcentajes de componentes, se han seguido los diagramas indicados por Terry y Chilingier (1955).

DIAGRAMA DE DISTRIBUCION RELACIONADA



Modelos de distribución relacionada específica:

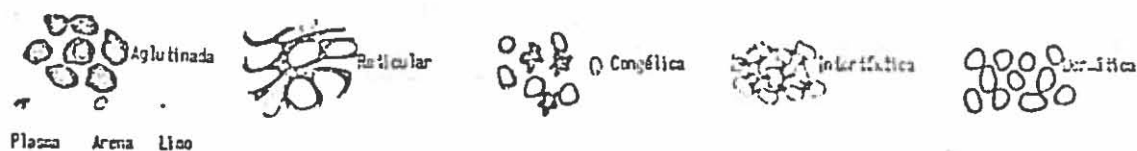


Fig. 2

MINERALOGIA DE ARENAS: MORFOSCOPIA E IDENTIFICACION MICROMINERALOGICA.

Cuando se trata de estudiar la fracción gruesa de un suelo, fracciones comprendidas entre 2 - 0,2 mm (arena gruesa) y entre 0,2 - 0,02 mm. (arena fina), ha de practicarse previamente el análisis mecánico a la muestra de suelo para obtener dichas fracciones. El fundamento del método o marcha a seguir es la separación de los componentes "finos": arcilla y limo que estorban en el estudio de los granos minerales de la arena; a aquellas fracciones, comprendidas entre 0,02 mm y $2\ \mu$ (limo) e inferior a $2\ \mu$ (arcilla), se aplican otros métodos de estudio como son el análisis térmico diferencial, rayos X y microscopía electrónica.

Existen varios métodos de preparación de suelos para el análisis mecánico; entre ellos se pueden mencionar el método de JEFFRIES, por el que se consigue la completa reducción de los óxidos de hierro, que tanto obstaculizan la clara observación de los granos minerales; también el método propuesto por C.J. LEITH, que elimina la película de óxidos de hierro que recubre los granos minerales cuando existe una acusada rubificación.

En este trabajo, por tratarse de un suelo francamente arenoso se siguió la técnica que se describe a continuación:

Se pesan aproximadamente 20 gr. de suelo desecado al aire, se tritura para uniformar los agregados sin llegar a molturar. Tamizar por malla de 2 mm. y después por 0,5 mm. para eliminar algo de tierra fina y viabilizar el trabajo posterior, una vez hecho esto, se coloca la muestra en un vaso de precipitado de 400 - 600 cc., tratándola con agua oxigenada de 20 vol. para destruir la materia orgánica, y como operación previa al análisis mecánico.

ELIMINACION DE LA MATERIA ORGANICA.

Una vez desecada la muestra, se vierte el suelo, con sumo cuidado, en un vaso de 400 - 600 c.c. de forma alta, al cual se le añaden unos 60 c.c. de agua oxigenada de 20 vol., con cuidado con el fin de evitar pérdida de materia, se agita el vaso imprimiendo un movimiento de rotación y se deja en reposo 5 minutos, para que actúe en frío el agua oxigenada. A continuación se calienta al baño maría agitando frecuentemente para que no salga espuma. Cuando disminuye la espuma se agregan 40 c.c. más de agua oxigenada. Se continúa así la adición de porciones de 40 c.c. de agua oxigenada hasta que al agregar más, no se produce reacción.

Desecar y pesar el suelo limpio, dispersando con agua amoniacal o priofosfato de sodio, agitando a mano y sifonando cada 4,8 minutos los 10 cm. superiores en un vaso de precipitados de 1 litro, hasta que quede clara la parte superior y se observe que se ha eliminado todo el limo y arcilla, quedando depositada en el fondo la arena.

De esta fracción una vez seca se separa la mitad aproximadamente, se pesa, y se guarda para estudiar solamente los carbonatos, olivinos y apatito que pudieran destruirse con el tratamiento por ácido (se sigue el mismo tratamiento que la arena pero sin tratar por clorhídrico).

El resto se pasa a una cápsula para proceder como se indica en la técnica de preparación de la arena

TECNICA DE PREPARACION DE LA ARENA.

El fundamento del método está en obtener granos minerales perfectamente limpios para facilitar su observación e identificación con el microscópio petrográfico.

a) Primeras operaciones :

1º. Se toman unos 10 gr. y se lava en cápsula de porcelana abundantemente con agua corriente, adaptando a la fuente una goma con un corto tubo de vidrio en el extremo opuesto, para que el lavado sea dirigido y disminuir el peligro de pérdida de material; así se lava y decanta varias veces, para eliminar la porción arcillosa que pudiera contener, hasta que el agua quede clara. De esta arena lavada, seca y tamizada por malla de 0,5 milímetros, se pesa el tamizado (primera pesada). El resto que queda sobre el tamiz se observa a la lupa binocular.

2º. Se trata esa cantidad por ácido clorhídrico al 10 por 100 en frío, siendo suficiente el ataque de media hora. (Por este tratamiento se eliminan los carbonatos y los hidróxidos de hierro que con tanta frecuencia recubren los granos minerales enmascarando sus características y propiedades ópticas).

Este paso debe realizarse bajo campana de gases.

3º. Nuevo lavado con agua seguido de su desecación en la estufa o baño de arena entre los 105° - 110° C, volviendo a pesarse la muestra (segunda pesada). La pérdida de peso nos da la cantidad de carbonatos e hidróxidos de hierro atacados.

4º. Se prosigue con un tratamiento por ditionito de sodio al 5 por 100 durante media hora en caliente, y bajo campa-

na de gases. (Los óxidos e hidróxidos de hierro que pudieran existir serán atacados, así como los sulfuros metálicos).

5º. Ultimo lavado con agua hasta neutralización y secado en la estufa o baño de arena, volviendo a pesar el resto (tercera pesada).

Así se llega a obtener una rena limpia y dispuesta para su tratamiento por un líquido denso que permita su separación en las dos fracciones "pesada" y "ligera".

El tratamiento por ácidos tiene el inconveniente de que se eliminan ciertos minerales poco estables, como podrían ser: el apatito y el olivino (aparte de los carbonatos, que son los principalmente atacados); pero, en la mayoría de los casos, no es fácil llevar a cabo una identificación de minerales en el microscópio sin un tratamiento adecuado con ácidos debido a la fuerte incrustación en óxidos de hierro e hidróxidos y carbonatos que recubren los granos minerales, debido a eso es aconsejable este tratamiento cuando existe dicha rubeficación. Por ello se ha guardado la fracción para el estudio de carbonatos.

Cuando se posee arena obtenida mediante el análisis mecánico convencional, usado para determinar la composición granulométrica del suelo, el tratamiento seguido se comienza en a.

b) Separación de fracciones :

Entre los líquidos densos que se utilizan, el bromoformo es el más empleado; su peso específico $\sim 2,9$ (2,88 a los 18°C).

6º. Se procede vertiendo sobre el embudo separador provisto de llave (Fig. 3) el bromoformo hasta la mitad del embudo, dejando caer sobre él la cantidad de arena limpia, residuo de los tratamientos anteriores, revolviendo bien la arena en el seno del bromoformo, con varilla de vidrio, y movimiento circulante. Se deja en reposo hasta que los minerales de peso específico superior al del bromoformo se depositen sobre la llave perforada, y abriendo ésta, los minerales "densos" o "pesados" caen en la pequeña cápsula colocada al efecto. (Esta operación hay que ejecutarla con la suficiente rapidez para que no sean arrastrados los minerales de la fracción ligera y se mezclen con los "pesados"). El tratamiento por el bromoformo se suspende cuando ya no se sedimenta ningún grano.

La fracción "pesada" recogida en la pequeña cápsula es lavada con alcohol limpio contenido en un frasco lavador y se seca a la temperatura ambiente, quedando dispuesta para el montaje de preparaciones.

La fracción "ligera" es lavada también con alcohol sobre el mismo embudo separador, abriendo después la llave para que caiga el residuo "ligero" junto con el bromoformo + alcohol a un embudo con filtro colocado debajo del separador; filtra la mezcla de bromoformo + alcohol que se recoge en un frasco de color o vidrio topacio, quedando sobre el filtro el material ligero, que se depositará con el mismo filtro en una cápsula para secar en la estufa.

La mezcla de bromoformo + alcohol se conserva para recuperar el bromoformo y las fracciones obtenidas por separación, se guardan en tubos de vidrio para cuando sean montadas las preparaciones.

Todas las operaciones de separación de fracciones pueden efectuarse "en serie" cuando la índole del trabajo lo requiere, utilizando un soporte especial tipo gradilla a propósito para trabajar con varias muestras a la vez.

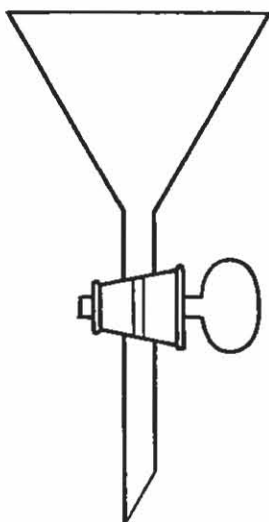


Fig. 3 .- Embudo separador cuyas paredes tienen con la vertical una inclinación de 30° .

En la separación de minerales "pesados" se pueden utilizar líquidos de densidad inferior a 2,9 y en este caso se recurre a mezclas como en la separación de microfósiles, en cuyo caso se diluye el bromoformo con alcohol para obtener una mezcla de p.e. = 2,68.

7º. Obtenida la separación de las fracciones "ligera" y "pesada" se pesa la más abundante y se halla el peso de la otra por diferencia, obteniendo así la relación en que se encuentran ambas fracciones o, para mayor exactitud, se pesa cada una independientemente. Todos estos datos gravimétricos se consignan en una tabla como la que exponemos a continuación, y según la marcha descrita.

También suelen emplearse en vez de embudos como los descritos, copas de separación, que aunque el fundamento es el mismo, la técnica de manejo presenta algunas diferencias sobre lo indicado.

TABLA

PREPARACION DEL MATERIAL				SEPARACION POR FRACCIONES	
Número de la muestra	Arena lavada y tamizada, peso inicial en grs. (P ₁)	Tratamiento por :		Tratamiento por bromoformo	
		HCL, peso en grs.	Ditionito de sodio peso en grs.	Fracción "ligera", peso	Fracción "pesada", peso
		(P ₂)		(P ₃)	(P ₄)

c) Montaje de preparaciones.

Para el estudio al microscópio petrográfico de la arena ya separada en sus dos fracciones, se procede al montaje entre "porta" y "cubre" de los granos minerales incluidos en un medio diáfano.

Como medios diáfanos de inclusión para las separaciones fijas se utilizan el bálsamo del Canadá y la piperina. Si se utiliza el primero se procede dejando caer con la ayuda de un pincel los granos minerales sobre una gota de bálsamo colocada sobre un portaobjetos, distribuyendo con una aguja enmanegada dichos granos; esto se hace sobre la placa eléctrica, esperando hasta que el bálsamo haya alquirido la consistencia necesaria para que quede bien fija la preparación al colocar el cubreobjetos; este endurecimiento se debe a la evaporación del xilol del bálsamo y se comprueba cuando tomando una pequeña cantidad del mismo con la punta de la aguja y rodándola entre los dedos pueda hacerse una pequeña bola sin pegajosidad quedando dura al enfriarse; la temperatura de la placa debe ser de 120° a 130°C.

Una vez cubierta la preparación se retira de la placa y se deja enfriar; en esta operación ha de procurarse que

no queden burbujas, y si los bordes del "cubre" quedasen con un reborde excesivo de bálsamo, pueden limpiarse, en frío, con xilol.

Si el medio de inclusión fuera la piperina, se procede triturando los cristales de este alcaloide y colocando el polvillo obtenido sobre un "porta", mezclándolo bien con los granos minerales sobre la placa eléctrica; funde la piperina y quedan incluidos en ella los granos sobre los que se deja caer el cubreobjetos, procediendo en lo demás como en el caso del bálsamo.

Estas dos técnicas en el montaje de preparaciones se aplican más para los minerales "densos", pues las fracciones "ligeras" suelen estudiarse en preparaciones volantes, incluyendo los granos minerales simplemente en nitrobenzol o en otras mezclas como la de nitrobenzol y clorobenzol en las proporciones de 10,5 : 4 c.c. y la de nitrobenzol y aceite de oliva puro en la proporción de volúmenes 9,5 : 1 como veremos más adelante (*).

En el presente trabajo se ha utilizado como medio diáfano de inclusión, el bálsamo del Canadá.

En cuanto a la forma de pesar las fracciones "ligera" y "pesada" de la arena, ya dijimos anteriormente que la más abundante (salvo excepciones es siempre la "ligera") se pesa directamente (P_3) y en cuanto a la "pesada", pueden utilizarse unos pequeños tubos de 3 ó 4 centímetros de longitud y 5 ó 6 milímetros de diámetro en los que se guardan estas fracciones; primero se tara el tubo vacío (P_a) y después se pesa con los minerales dentro (P_b). La diferencia $P_b - P_a$ será P_4 ó peso de los minerales "pesados". Aún, si se quiere saber el peso de los minerales "montados", pesaríamos los que quedaron en el tubo (P_c), y la diferencia $P_b - P_c$ nos dará el peso de los minerales montados (P_5).

ESTUDIO DE MATERIALES

El estudio de las fracciones "pesada" y "ligera" que constituyen la arena puede hacerse cualitativa y cuantitativamente en función del objetivo de la investigación. El estudio cualitativo se basa en la identificación de las especies minerales e incluso se puede dar un coeficiente aproximado de frecuencia, como por ejemplo el de la escala de Tyler y Marden [#], mientras que el cuantitativo da porcentajes muy aproximados de los minerales, representando la composición para cada una de las fracciones que se estudian.

Fracción "pesada".- Su estudio al microscopio se reduce a la identificación de especies minerales y recuento de granos; el conteo se efectúa en línea contando los granos minerales que pasan por el cruce de los hilos del retículo, recorriendo así la preparación en zig-zag, espaciando cada línea medio milímetro, lo que se efectúa con el micrómetro de la rama vertical del carro o conductor de objetos fijos a la platina del microscopio. Cuando se hayan contado 100 granos minerales transparentes se suspende el conteo. Existen diferentes criterios de conteos, según la finalidad del trabajo; por ejemplo, cuando se trata de arenas no homogéneas, el conteo de los granos minerales transparentes debe ser superior a 100. Por otra parte Leiz dió el número de 400 granos contados, otros autores como

[#] Escala de Tyler y Marden, para un coeficiente aproximado de frecuencia :

dd = predominante	75 - 100	por 100
d = dominante	50 - 75	" "
a = abundante	25 - 50	" "
c = común	10 - 25	" "
p = presente	5 - 10	" "
r = raro	1 - 5	" "
t = trazas	inferior a 1	" "
- = no hallado		

J. Pérez Mateos toma el valor de 200 determinaciones corrientes y 300 para materiales de composición mineralógica heterogénea. Puede también calcularse el porcentaje en función de un área arbitrariamente escogida, contándose todos los granos minerales incluidos en ella.

Los minerales opacos se cuentan en bloque y se dá su número por cada cien especies minerales transparentes contados.

Con los resultados obtenidos se construyen gráficas y tablas que facilitan la interpretación posterior.

Fracción "ligera".- El cuarzo y el feldespato son los componentes en masa de la fracción "ligera", por tanto el método desarrollado permite una determinación rápida de los mismos, pudiendo dar sus porcentajes aproximados entre sí.

Se incluyen los granos minerales "ligeros", sobre el porta, en un líquido, cuyo índice de refracción esté en equilibrio con el ordinario del cuarzo, y en estas condiciones los granos de cuarzo aparecen poco visibles, destacando los de feldespatos. Se emplea, como antes se dijo (*), para inclusión una mezcla de nitrobenzol y clorobenzol en proporciones calculadas (5,25 c.c. de nitrobenzol y 2 c.c. de clorobenzol) para que el índice de refracción de la mezcla quede en equilibrio con el del cuarzo. (Dicho índice de refracción podría comprobarse por un refractómetro).

Puesta la preparación así montada, sin cubrir, bajo el objetivo del microscopio petrográfico se sigue la siguiente marcha :

- 1º.- Se introduce el analizador, con lo cual todos los granos minerales aparecen visibles y se cuentan todos los que se ven en el campo del microscopio o los de un cuadrante.
- 2º.- Se saca el analizador, con lo que los granos de cuarzo aparecen casi invisibles; quedan destacados los de feldespatos, que se cuentan, y restando del número total anterior obtenemos los de cuarzo.

3º.- Con el número total primero y los de cuarzo y feldespatos se calculan los porcentajes sin más que hacer un sencillo cálculo.

Este análisis de la fracción "ligera" puede considerarse semi-cuantitativo, por ser solamente aproximados los porcentajes. Para mayor aproximación pueden hacerse varios recuentos en diferentes campos de la preparación observada al microscopio y hallar la media.

(La mezcla de nitrobenzol y clorobenzol debe guardarse en frascos de color topacio para evitar la acción de la luz). Pueden ser también utilizadas otras mezclas como líquidos de inclusión.

En el reconocimiento de los granos minerales "ligeros" y utilizando el método de iluminación oblicua de Van der Kolk con fuerte luz blanca, aparecen los granos de cuarzo con el borde coloreado de rojo a la derecha y azulado en el lado opuesto, debido a fenómenos de dispersión que se acusan cuando varía el índice de refracción del líquido con la temperatura. Los feldespatos se destacan con el borde oscuro a la derecha y brillante en el lado opuesto. (Todo esto introduciendo la cartulina negra por la derecha).

Para la diferenciación del cuarzo y los feldespatos, existen técnicas de teñido selectivo, las cuales no son muy practicadas, y por ello nos limitaremos a mencionarlas. Entre ellas se pueden citar la de A. Gabriel y E.P. Cox; una modificación moderna de la citada anteriormente es la realizada por W.D. Keller y Chuen Pu Ting, así como la técnica llevada a cabo por T. Aleixandre y A. Pinilla. Todas ellas basadas en la coloración de los feldespatos provocada por la acción del Fluorhídrico y cobalnitrito sódico, contribuyendo en dicha coloración otros agentes químicos, como por ej.: el verde de malaquita, la hematina, etc.

DETERMINACION DE MINERALES

La preparación montada y colocada sobre la platina del microscopio petrográfico se examina con el objetivo de poco aumento (2,5 x), desplazándola en todos los sentidos para tener una visión de conjunto de la fracción que se estudia. Colocada después en una posición de comienzo, se inicia el estudio de los granos minerales, desplazando suavemente la preparación en sentido horizontal y observando cada grano mineral de los que van pasando por el cruce de los hilos del retículo, utilizando sucesivamente objetivos de mayor aumento, si para la identificación del grano mineral fuese necesario.

La observación de cada grano mineral se hace en luz paralela, entre nicoles cruzados y en luz convergente.

En luz polarizada paralela se observa la forma, color, pleocroismo, exfoliación, relieve en función del índice de refracción, fractura y brillo, este último observable con luz incidente. Se hace uso del condensador cuando los minerales son de coloración intensa, como ciertos rutilos, o están oscurecidos por inclusiones, como algunas anatasas, estaurolititas, etc.

Entre nicoles cruzados se observa la isotropía y la anisotropía; birrefringencia, extinción, medida de ángulos de extinción y signo de elongación.

En luz convergente (observación conoscópica) y con objetivos de mayor aumento se determina la uniaxialidad o biaxialidad de los minerales por las figuras de interferencia, el signo óptico, dispersión y medida del ángulo $2V$ ó de los ejes ópticos (Esquema 1).

El conocimiento de estos datos aplicados, nos lleva a la identificación de la especie mineral, y en caso de duda entre minerales parecidos, la comparación de los caracteres particulares de ambos minerales, nos permitirá su identificación.

Esquema 1

I. Observaciones generales con luz ordinaria :

- Incidente o por reflexión { Color
Brillo
- Transmitida o transparencia o refractada { Color
Forma ó "hábito"
- a) Medida de ángulos
- b) Determinación del índice de refracción: Línea de Becke
(gran aumento y luz convergente)
- c) Medición de longitudes.

II. Observaciones con luz polarizada :

- a) Con luz polarizada paralela {
 - Isotropía o anisotropía.
 - Índice de refracción.
 - Contorno del cristal y grietas de exfoliación.
 - Direcciones de extinción.
 - Det. de rayos rápidos y lentos.
 - Colores de interferencia. Birrefringencia.
 - Pleoctoísmo.
- b) Con luz polarizada convergente {
 - Figuras uniáxicas o biáxicas (fig. de interferencia). Orientación.
 - Anotar tamaño del ángulo óptico si es biáxica.
 - Carácter + o - .
 - Doble refracción.
 - Dispersión.
 - Rotación óptica.
 - Sistemas cristalinos.

En ocasiones especiales hay que recurrir a otros métodos, siendo el mejor auxiliar el análisis espectroquímico (si se puede obtener una pequeña concentración del mineral problema); así, en el caso de granos redondeados o rodados en los que la forma cristalina no es reconocible como, por ejemplo, granos de monacita podrían confundirse con el circón coloreado, pero la presencia de la raya del cerio en el espectrograma nos definiría la especie mineral. (Esto puede también observarse con un espectroscopio pupilar adaptado al microscopio). Como ensayos auxiliares podrían ser en algunos casos de utilidad: la coloración a la llama (si puede concentrarse un número de granos) y coloración de perlas, así como también son posibles (en aquellas condiciones de concentración) ciertos ensayos microquímicos.

La identificación de los minerales detríticos por medio de la refracción, valiéndose de una colección de líquidos de índices de refracción conocidos y de mezclas de éstos, para obtener una serie con intervalos pequeños, fue método que se aplicó en un principio ya lejano, pues aunque el índice de refracción es muy útil en la identificación de los minerales, no es suficiente en modo alguno, aparte de las dificultades que ofrece la lentitud e incomodidad; por ésto, no se recomiendan las inclusiones repetidas en líquidos distintos de índices de refracción variables, y como ya queda expuesto, las preparaciones se montan fijas con bálsamo del Canadá, de índice de refracción constante ($N = 1,54$), en el cual quedan fijos los granos minerales en inclusión. Hoy sólo se utilizan normalmente aquellas colecciones de líquidos en casos de comprobación o identificación de algún mineral problema.

Tampoco se recomienda el peso específico para la determinación de las especies minerales (aunque igualmente, en un principio, sí se aplicó), puesto que en minerales naturales oscila grandemente por la influencia de impurezas, inclusiones, etc., que hacen variar considerablemente su peso específico.

ANALISIS DE PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

PREPARACION DE LAS MUESTRAS.

Muestras naturales de los perfiles de suelos estudiados, se secaron al aire, se molieron y homogeneizaron, y se pasaron por tamiz de 2 mm. para realizar las siguientes determinaciones :

DETERMINACION DEL pH.-

Se han medido con pH-metro Beckman H-2, Mod. 8509, en pasta de suelo saturado en agua, repitiéndose con pasta saturada en ClK (Hernando y Sánchez Conde, 1954).

CARBONO ORGANICO.-

Se determinó siguiendo el método de Walkley-Black (1934), efectuando una oxidación de 1 gr. de muestra con H_2SO_4 y $K_2Cr_2O_7$, valorando el exceso de dicromato con sal de Mohr ($FeSO_4$) y empleando difenil-amina como indicador. Para acomplejar los iones férricos que vayan formándose y mantener constante la velocidad de reacción ha de añadirse, previamente, H_3PO_4 .

El carbono orgánico se ha obtenido multiplicando por un factor constante (3,9) la diferencia de los volúmenes gastados de $FeSO_4$ en la muestra, y en un ensayo en blanco que se efectuó paralelamente.

MATERIA ORGANICA.-

Se calculó multiplicando el valor obtenido de carbono por el factor estandar 1,724.

NITROGENO ORGANICO.-

Se siguió el método Kjeldahl modificado (Jackson, 1958). Las diversas formas de nitrógeno en el suelo son atacadas por H_2SO_4 , K_2SO_4 y $CuSO_4$ pasando a $(NH_4)_2SO_4$. Posteriormente, en frío, se agregó NaOH para desplazar los iones NH_4 , recogiendo el destilado sobre una solución de ácido bórico al 4 % y valorando con H_2SO_4 N/14. Como indicador se ha empleado verde de bromocresol.

CARBONATOS.-

Se determinaron con calcímetro Bernard.

CAMBIO IONICO.-

Para la determinación de la capacidad de cambio total se usó el método de Schollenberger y Simón (1945): se trataron 10 gr. de muestra en tubos de centrifuga, hasta saturación en NH_4^+ . Después de lavado y secado al aire se destiló en matraz Kjeldahl, recogiendo el destilado sobre ácido de factor conocido, cuyo exceso se valoró con NaOH 0,1 N, empleando verde de bromocresol como indicador.

Los resultados se expresaron en meq/100 gr. de suelo.

FOSFORO ASIMILABLE.-

El fósforo asimilable se determinó por el método de Burriel y Hernando (1950), expresándose los resultados en mg. P_2O_5 /100 gr. de suelo.

POTASIO ASIMILABLE.-

El potasio asimilable se extrajo de la muestra de suelo con solución Morgan, midiéndose por espectrofotometría de

llama, en fotómetro Lange.

Se expresó en mg. K_2O /100 gr. de suelo.

CALCIO Y MAGNESIO ASIMILABLES.-

Se determinaron por complexometría, (Piper, 1950), utilizando la solución extractora, CH_3COONH_4 a pH = 7,1 (75 ml. de solución y 25 gr. de suelo). Se empleó EDTA III 0,2 N y negro de eriocromo como indicadores (Schwarzenbach, 1959).

HIERRO TOTAL.-

Se realiza la fusión alcalina con CO_3Na_2 de 1 gr. de suelo, tamizado por 2 mm. y seco al aire. El resultado de la fusión se disuelve en ClH 1:1, y la solución se enrasa en un matraz de 250 cc. La determinación de Fe se lleva a cabo en un aparato de absorción atómica.

HIERRO LIBRE.-

La extracción del hierro libre se basa en el método Endredy (1963). Se parte de 500 mg. de suelo tamizado que se tratan con 100 cc. de solución TMM (solución tampón a pH 3,25 de oxalato amónico-ácido oxálico). La suspensión se expone durante 2 horas a la radiación ultravioleta de una lámpara de vapor de mercurio de 250 W. Una vez obtenida la solución, el hierro se determina por absorción atómica y se expresa en % de Fe_2O_3 .

DETERMINACION DE PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

GRANULOMETRIA.-

La composición granulométrica, que se considera como índice de la textura del suelo, se ha determinado siguiendo las normas fundamentales del Método Internacional de Análisis Mecánico, en cuanto a eliminación de materia orgánica y límite de tamaño de las fracciones arena gruesa, arena fina, limo y arcilla.

La materia orgánica se ha eliminado por tratamiento con agua oxigenada de 20 vol.

Como agente dispersante se ha empleado 10 ml. de una solución de 37,7 gr. de metafosfato sódico y 7,49 gr. de carbonato sódico por litro, con una densidad de 1,006.

Se ha utilizado agitador de volteo, con velocidad de 70 r.p.m., durante 8 horas.

La fracción arena gruesa se ha separado por tamizado (0,2 mm.) previo y la arena fina por decantación, una vez obtenidas las fracciones limo y arcilla. Estas últimas se han determinado con el auxilio de un hidrómetro de cadena, similar al propuesto por De Leenheer et al. (1955), siguiendo la técnica descrita por sus autores.

**III. FACTORES
ECOLOGICOS**

La zona de estudio se encuentra enclavada en el Coto de Doñana, Reserva Biológica incluida dentro del Parque Nacional del mismo nombre, que se encuentra bajo patrocinio del IRYDA, C.S.I.C. y la World Wildlife Life Fundation.

Dicha Reserva, con una extensión aproximada de 7.500 Ha, puede dividirse en tres grandes complejos en función de los factores ambientales predominantes: marisma, arenas estabilizadas y dunas (Allier et al., 1974; González Bernáldez et al., 1975).

La zona de dunas, donde el factor controlante es la movilidad del sustrato, ocupa dentro de la reserva algo menos de 400 Ha., y representa una pequeña parte del importante sistema de dunas móviles que se extiende desde Torre la Higuera hasta la desembocadura del Guadalquivir, con una longitud de más de 30 kilómetros. Todo el conjunto está formado por sucesivos frentes dunares y valles interdunares ("corrales") alineados paralelamente a la costa, cuya formación está muy relacionada con el depósito costero de arenas transportadas por las corrientes marinas. Estas arenas, una vez depositadas en la playa, son arrastradas hacia el interior por los vientos dominantes, dando lugar a los sucesivos frentes de dunas, que avanzan hacia la Reserva en dirección N.E. (Allier et al., 1975).

Los suelos objeto del presente trabajo se han desarrollado sobre las arenas cuaternarias del cordón litoral de dunas fijadas hace relativamente poco tiempo, próximas a las arenas de playas y dunas móviles que constituyen un ecosistema único en Andalucía Occidental.

En estas dunas fijas existe una vegetación característica representada predominantemente por: *Juniperus phoenicea* (enebro), *Pinus pinea* (pinos), *Rosmarinus officinalis* (romero) y *Thymus mastichina* (tomillo), mientras que en los llanos entre dunas se desarrollan especies tales como: *Rosmarinus officinalis* (romero), *Corema album*, *Halimum* sp., *Erica* sp. (brezos), *Cyperus sehoenoide*, *Carex arenaria*, *Juncus* sp. (juncos) y *Cistus* sp., que contribuyen al ambiente típico de la zona en cuestión.

Por la naturaleza de los materiales del sustrato, los suelos sobre ellos desarrollados son muy estériles, debido a la escasa cantidad de nutrientes, pero en contraposición, tienen una buena estructura, lo cual facilita la penetración y el desarrollo radicular de diferentes especies vegetales, favorecida por una climatología benigna. Ello hace posible, con un buen manejo del suelo, la implantación de cultivos de primores, los cuales de hecho van proliferando en algunas zonas, como el de fresas, espárragos, etc. conllevando a que dicha zona, pueda considerarse como un gran invernadero natural.

CLIMATOLOGIA

Se caracteriza por inviernos con períodos lluviosos y veranos secos, suavizado el clima por la influencia oceánica.

Se cataloga como seco-subhúmedo, según Thornthwaite, con exceso de humedad en invierno y sequedad en verano (mesotérmico), pudiendo alcanzarse hasta 42°C en esta época.

La media anual de pluviosidad es de unos 620 mm. y la temperatura media está sobre 16°C.

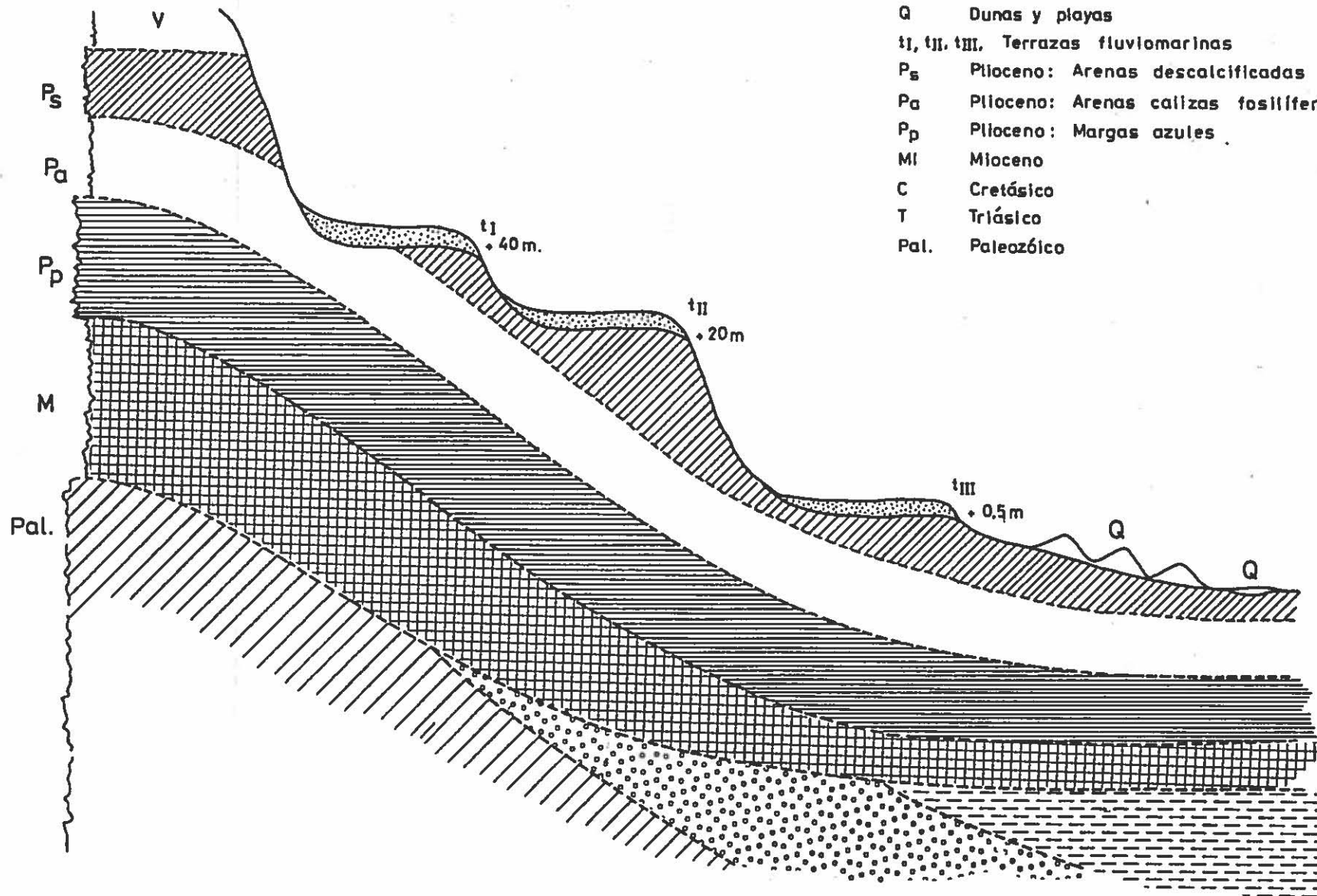
GEOLOGIA - GEOMORFOLOGIA

Las muestras estudiadas fueron tomadas en el borde costero oriental del llamado Llano de Huelva. Geomorfológicamente, se trata de una plataforma suavemente inclinada hacia el Atlántico, y hacia la desembocadura del Guadalquivir. Desde el punto de vista geológico, está formada por un basamiento mio-plioceno, recubierto por depósitos y terrazas cuaternarias.

Los depósitos Pliocenos (con algo de Mioceno en la base) forman la base de esta plataforma. Están compuestos, en esencia por dos formaciones pliocenas de facies muy bien diferenciadas; en la base las margas azules del Plasenciense, y encima las arenas finas, con zonas de acumulaciones fosilíferas, de facies Nerítica-cestiense. (Rivas, O. y col., 1961).

Estas arenas finas, de sedimentación marina nerítica, muy carbonatada en los lugares de acumulaciones fosilíferas, como se ha indicado, se encuentran cubiertas por arenas silíceas, que aumentan su calibre gradualmente hacia arriba, terminando la serie con arenas groseras e incluso grava, cementadas por costras ferruginosas. Estas arenas y gravas pueden ser atribuidas al Villafranquiense, tal como vienen haciéndolo los portugueses, ya que están por encima del Plioceno alto y dominan a su vez las terrazas fluviomarinas del Cuaternario. Esta plataforma Plio-Villafranquiense, está deformada por abombamientos de gran radio intracuaternarios; presentando un descenso gradual hacia el mar y hacia la desembocadura del Guadalquivir. (Fig. 4).

Puede apreciarse un frente de descalcificación, más o menos profundo en la serie estatigráfica. Las arenas y gravas superiores han sufrido una erosión química muy intensa en el transcurso del Cuaternario. Los cantos de cuarzo (dominantes) se presentan muy corroídos (aspecto cariado) y frágiles por pérdida de materia. Presentan muy poca arcilla, y el cemento, cuando existe, es ferruginoso.



SIMBOLOGIA

- V Villafranchense
- Q Dunas y playas
- tI, tII, tIII, Terrazas fluvio-marinas
- Ps Plioceno: Arenas descalcificadas
- Pa Plioceno: Arenas calizas fosilíferas
- Pp Plioceno: Margas azules
- M Mioceno
- C Cretácico
- T Triásico
- Pal. Paleozóico

Fig. 4

Durante el Cuaternario se han depositado terrazas fluviales-continentales a lo largo de los ríos y arroyos, terrazas marinas y dunas en el litoral, y capas de tipo fluvio-marino en las zonas actuales de las Marismas.

Se han distinguido tres niveles principales, llamados Cuaternario Antiguo, Medio y Reciente, que se individualizan fácilmente, tanto por sus facies como por su posición relativa.

Corresponde al Cuaternario Reciente o nivel inferior las playas actuales, con sus dunas vivas, las cuales forman un enclave característico en el Coto de Doñana, habiéndose fijado en ciertas zonas del litoral por la vegetación impuesta.

Estos cordones litorales de dunas, se extienden desde Ayamonte (Huelva), cruzando a la orilla izquierda del Guadalquivir, hasta Conil (Cádiz), bordeando más o menos paralelamente a la costa, aunque con cierta inclinación S-E debido a los vientos predominantes. Su altura llega a alcanzar 100 m. sobre el nivel del mar, en la zona de Asperillo, próximo a la zona de estudio, encontrándose conchas de especies vivientes. Gran parte de la llamada costa de Castilla y el cordón litoral desde el arroyo Don Gil hasta la costa, es un extenso médano de arenas.

Tierra adentro se encuentra un cordón litoral fósil, de dirección paralela al actual, que se extiende desde Mazagón hasta Sanlúcar de Barrameda. La altura media de estas dunas fósiles es del orden de 30 m. y su espesor puede alcanzar 60 m. Se han incluido estas dunas en el Cuaternario Medio, por la rubefacción que presentan sus arenas, aunque no aparecen cementaciones ni costras (IGME, 1972).

Su fisiografía viene impuesta por la naturaleza deleznable de las rocas del Golfo de Huelva, por las corrientes del oleaje y por la acción de los vientos, que provocan en el litoral de esta provincia, en mucha mayor escala que en otras, grandes aterramientos, socavaciones y desgastes, cordones, cortes y barras, hoyos, surcos y escarpas, con acantilados de difícil acceso.

Al propio tiempo que ocurrió este trabajo de desgaste hubo un movimiento de descenso al Sur de las costas meridionales de la Península, seguido de la consiguiente invasión de las aguas del mar; y desde aquella época fueron menos importantes las socavaciones de la costa, formándose por la acción de las mareas y del oleaje, nuevas playas y barras que se siguen transformando.

El desgaste de la tierra firme tiende a regularizar la línea de la costa aproximada al rumbo N.O.; y el mayor efecto en los fenómenos actuales del litoral procede de los vientos duros del S. al O., según se justifica por las roturas del cordón que hace años ocurrieron en la laguna grande de Palos en esta zona, por las alteraciones de las barras en los grandes temporales.

Su historia geológica puede esquematizarse como sigue :

Hacia los últimos tiempos del Mioceno Superior, el área objeto de estudio, se encontraba sumergida bajo un mar de aguas someras, extendiéndose ampliamente por los dominios de la actual Depresión del Guadalquivir y de las Cordilleras Béticas emergiendo numerosas islas y archipiélagos. Hacia el final del Mioceno o principio del Plioceno ocurre una regresión bastante general, después de la cual, ya en pleno Plioceno, el mar transgrede de nuevo, pero penetra mucho menos hacia el interior de las Cordilleras Béticas, y las líneas de costas se van acercando al trazado actual.

IV. RESULTADOS
EXPERIMENTALES Y
DISCUSION GENERAL

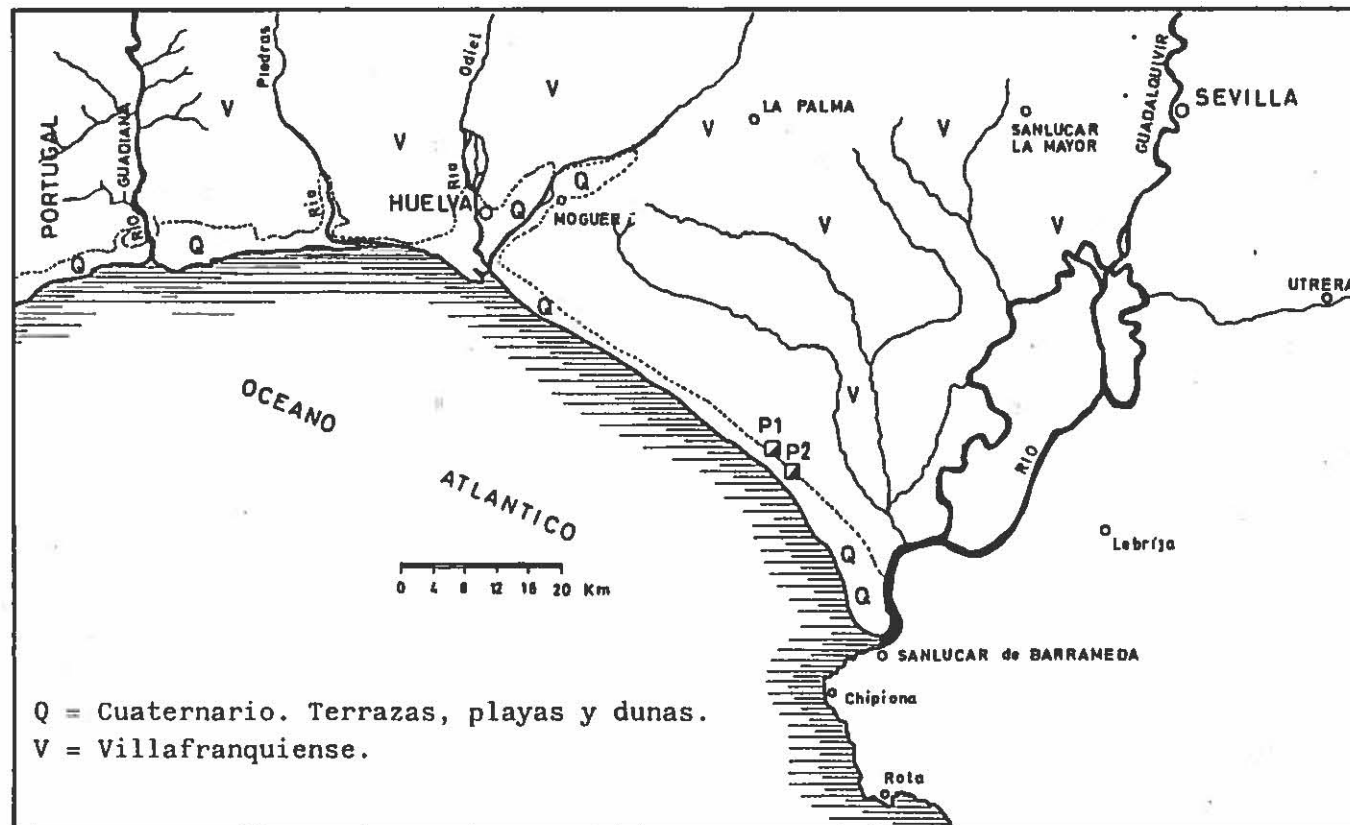


Fig. 5.- Croquis de situación de perfiles y zona de estudio.



Panorámica general de la zona de estudio.

En primer plano a la izquierda, zona alta de duna y situación del perfil nº 1. Al fondo segunda cadena de duna fija. Centro, zona deprimida entre cadenas de dunas ("Co_rrales"-situación del perfil nº 2).

PERFIL Nº 1

Situación : Coto Doñana (Huelva). 4^{ta} Duna desde el control (1 $\frac{1}{2}$ Km.) de entrada al Coto. Hoja topográfica Nº 1033 Palacio de Doñana, E. 1:50.000 I.G.C.
 Longitud : 6° 31' 00"
 Latitud : 37° 00' 04"
 Altitud : 30 m.
 Orientación : Parte superior de la duna
 Topografía del terreno circundante: Ondulado (2 - 8 %)
 Pendiente : 4 - 6 %
 Uso : Repoblación de pinos
 Vegetación : Rosmarinus officinalis (romero), Pinus pinea (pino), Thymus mestichina (tomillo), Juniperus phoenicea (enebro)
 Material original: Sedimentos arenosos cuaternarios
 Drenaje : Bueno
 Erosión : Eólica
 Pedregosidad : Nula
 Clasificación : Quartzipsamment. "Poco evolucionado; no climático; de aporte eólico; modal.

Prof. (cm.)	Horz.	Descripción
0-20	A	Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) (h); arenoso; muy friable; no plástico; no adherente; suelto; abundantes raíces finas y medianas; escasa actividad biológica; no reacciona al HCl; límite difuso.
20-50	A/C	Pardo amarillento (10 YR 5/6) (h); arenoso; muy friable; no plástico; no adherente; suelto; abundantes raíces finas y medianas; escasa actividad biológica; no reacciona al HCl; límite difuso.
50-	C	Amarillo parduzco (10 YR 4/8) (h); arenoso; muy friable; no plástico; no adherente; suelto; escasas raíces en los primeros centímetros; no reacciona al HCl.

PERFIL Nº 2

Situación : Coto Doñana (Huelva). Km. 8 Palacio-Control.
 Hoja topográfica Nº 1033, E. 1:50.000 Pa-
 lacio de Doñana I.G.C.
 Longitud : 6° 30' 56"
 Latitud : 37° 00' 04"
 Altitud : 15 m.
 Orientación : Zona llana entre dunas fijas
 Topografía del terreno circundante: Zona deprimida entre du-
 nas ("Corral")
 Pendiente : 2 ‰
 Uso : Pinos y matorral bajo
 Vegetación : Rosmarinus officinalis (romero); Corema
 album, Halimum sp., Erica sp. (brezos);
 Cyperus sehoenoides, Carex arenaria, Jun-
 cus sp. (juncos); Cistus sp. (jara)
 Material original: Sedimentos arenosos cuaternarios
 Drenaje : Bueno
 Erosión : No se aprecia
 Pedregosidad : Nula
 Clasificación : Quartzipsamment. "Poco evolucionado; no
 climático; de aporte eólico; humífero.

Prof. (cm.)	Horz.	Descripción
0-15	A ₁₁	Negro (5 YR 2,5/1) (h); franco-arenoso; mi- gajosa; muy friable (h); no plástico (m); no adherente (m); blando (s); buena activi- dad biológica; abundantes raíces finas y me- dianas; límite difuso.
15-25	A ₁₂	Gris muy oscuro (5 YR 3/1) (h); arenoso; sin estructura (granos sueltos); muy friable (h), no plástico (m); no adherente (m); blando (suelto) (s); frecuentes raíces finas y me- dianas; moderada actividad biológica; man- chas pardo rojizas a lo largo de las raí- ces; límite difuso.

.....///.....

.....///.....

Prof. (cm.)	Horiz.	Descripción
25-50	A C	Pardo grisáceo (10 YR 5/2) (h); escasas <u>raí</u> ces finas; escasa actividad biológica. Las mismas características que el horizonte <u>an</u> terior.
50-200	C	Gris claro (10 YR 7/2) (h); muy escasas <u>raí</u> ces finas y medianas; manchas pardo roji- zas escasas. Las mismas características que el horizonte anterior.

Observaciones: Arena más gruesa a partir de 1,5 m.

A.- ESTUDIO MICROMORFOLOGICO

PERFIL Nº 1.

En relación con la microestructura y porosidad se observa una consecuente correspondencia con la macromorfología de los tres horizontes, observándose campos de disposición lamelar. Se destaca asimismo la inestabilidad de la microestructura, ya que está constituida por granos libres viniendo determinada la microporosidad por los espacios intergranulares, no existiendo otro tipo de huecos, que van aumentando su compacidad con la profundidad por el peso de los horizontes superiores y relleno los huecos por fracciones de menor calibre.

En íntima conexión con lo dicho, prácticamente no existe plasma, en coincidencia con los datos generales, estando constituida la S-matriz, fundamentalmente por granos minerales redondeados de cuarzo principalmente, acompañados de otras especies minerales identificadas en el estudio micromineralógico. El tamaño real de estos granos, oscila entre el de la arena media y fina.

Prácticamente la gran mayoría de estos granos se encuentran rodeados de una cutícula ferruginosa, presentando por ello, una distribución relacionada específicamente dérmica y básicamente granular.

La materia orgánica identificable está representada por escasos restos vegetales semi-transformados, fundamentalmente en el horizonte superior.

En cuanto a microrasgos o separaciones edáficas, únicamente se observan las ya indicadas películas ferruginosas alrededor de los granos libres, sin cohesión entre ellos.

PERFIL N° 2.

El horizonte superior muestra una microestructura esponjosa, y una porosidad constituida por huecos de muy diversa morfología, fundamentalmente de cavidades cerradas e interconectadas entre sí, y algunos huecos abiertos.

La S-matriz está constituida fundamentalmente, por granos minerales redondeados de cuarzo y otras especies en menor proporción (ver identificación micromineralógica), debiéndose la relativa cohesión de este horizonte, a la abundante existencia de materia orgánica, en gran parte semi-transformada, y restos vegetales aún poco descompuestos que forman un entramado de aspecto esponjoso como antes se ha indicado, ya que prácticamente no existe plasma de naturaleza arcillosa.

El tipo de humus presente, muestra características del tipo Moder Mulliforme, sin descartar la existencia de tipo Mull, como se muestra por los datos químico-físicos.

Los únicos microrasgos o separaciones edáficas presentes son las películas ferruginosas que recubren los granos minerales, y ferranes a lo largo de los huecos de penetración de raíces.

La distribución relacionada es básicamente granular y específicamente dermática con campos intertexticos, debido a interconexiones de la materia orgánica con los granos minerales.

En el horizonte siguiente (A_{12}), las características son muy similares, apreciándose como aspecto diferenciativo una mayor proporción de granos minerales, y una relativa disminución del contenido de materia orgánica.

Los restantes horizontes subsuperficiales muestran una gran inestabilidad estructural al estar constituidos fundamentalmente por granos minerales independientes y presentando una porosidad de huecos intergranulares.

La S-matriz está constituida casi exclusivamente por granos minerales de cuarzo y otros en menor cantidad (ver identificación micromineralógica), con una práctica inexistencia de plasma de ninguna especie y con la microporosidad arriba indicada.

En cuanto a separaciones edáficas sólo se aprecian las películas ferruginosas que recubren los granos minerales, siendo de destacar, que son de un espesor bastante menor que las correspondientes a la de los minerales del perfil nº 1, lo cual lógicamente debe influir en la coloración general de estos sedimentos.

La distribución relacionada es básicamente granular, y específicamente dérmica, en coincidencia con los restantes datos generales estudiados.

B.- ANALISIS MICROMINERALOGICO DE ARENAS

Los resultados obtenidos en la identificación mineralógica quedan expuestos en las tablas 1 y 2 .

En la fracción superior a 0,5 mm. de diámetro, se ha encontrado abundante proporción de Cuarzo ordinario, acompañado de escasos granos minerales de Leucoxeno, Granate, Oligisto y Cuarzo rosado.

Las fracciones "ligeras" de calibre menor de 0,5 mm de diámetro, están constituidos en todos los casos por porcentajes superiores al 95 % de Cuarzo y cantidades mínimas de Feldspatos.

En las fracciones "densas", fueron identificadas 15 especies minerales, destacando un alto porcentaje de minerales opacos naturales, que predominan sobre los de alteración, principalmente Ilmenita, que va acompañada por pequeñas cantidades de Magnetita, Leucoxeno y Hematites. En los minerales "pesados" transparentes, se ha identificado como predominantes, la asociación Andalucita-Turmalina-Anfiboles (representados fundamentalmente por Hornblenda)-Circón.

La presencia abundante de Andalucita acompañada de porcentajes menores de Estauroлита-Granate-Silimanita-Distena, puede indicar la existencia de metamorfismo en la zona, que han influenciado estos sedimentos.

La presencia de Anfiboles y Piroxenos, aunque estos últimos escasos, vienen determinados por la existencia en áreas próximas de rocas y sustratos sedimentarios básicos (farallón costero plioceno, arenas fosilíferas y materiales calizos terciarios).

La intensa erosión química y geológica sufrida por estos materiales cuaternarios se pone de manifiesto por el intenso frente de descalcificación de los estratos superiores, así como por las pequeñas cantidades presentes de arcilla y

limo. Unicamente se manifiesta la presencia, como ya se dijo anteriormente, de acumulaciones ferruginosas, de origen fundamentalmente geoquímico, formando la cutícula de óxidos de hierro alrededor de los granos minerales, y que fue necesaria eliminar por los tratamientos ácidos indicados en la metodología, para su posterior identificación micromineralógica.

Esta característica se manifiesta en la morfología externa de los sedimentos sobre los que se han desarrollado los perfiles estudiados en el presente trabajo. Así las dunas fijas (Perfil nº 1), muestran una coloración ocre-amari-llenta, debida al mayor porcentaje de óxidos de hierro que recubren los granos, diferenciándose netamente de la fisiografía deprimida "Corrales". Perfil nº 2), que presentan una coloración más clara blanco-grisáceo, debido a que por ser una zona de mayor circulación hídrica ha efectuado un relativo lavado de las cutículas ferruginosas de los granos minerales.

El análisis mineralógico efectuado nos pone de manifiesto también, una baja reserva de fertilidad natural, ya que los minerales identificados poseen escasa aportación de sustancias nutritivas para las plantas, dato coincidente con los resultados fisico-químicos obtenidos.

Una de las conclusiones más notables que se deducen de este estudio micromineralógico, es la que se refiere al porcentaje de Cuarzo y minerales resistentes, ya que determinan con toda seguridad la clasificación de estos suelos en la Soil Taxonomy. Aparte de otras características, que cumplen, para su inclusión como Quartzipsamment, se exige un contenido superior al 95 % de los minerales citados, condición que puede comprobarse en las tablas 1 y 2 expuestas, por lo que estos suelos quedan clasificados como tales.

TABLA 1

Resultados de micromineralogía. Perfil Nº 1.

a) Minerales observados en la fracción 0,5 mm. de diámetro.-

Horizonte A : Muy escasos Leucoxenos; algún Olegisto; algún Granate; abundante Cuarzo.

Horizonte A/C : Trazas de Granate; algún Leucoxeno (más que el Granate, y mayor contenido que el horizonte anterior); algunos granos de Cuarzo con inclusión de Ilmenita y Magnetita; algún Cuarzo rosado; abundante Cuarzo.

Horizonte C : Algún Leucoxeno; abundante Cuarzo.

b) Pérdidas después de tratamientos.-

Horiz.	Porcentaje de Pérdidas			Determinación de las fracciones "Ligeras" y "Pesadas"				
	Después del HCl	Dition.	HCl + Dition.	Peso de la muestra	Peso de los Min. "Ligeros"	Peso de los Min. "Pesados"	d 2,9 % "Ligeros"	d 2,9 % "Pesados"
A	0,17	0,05	0,22	2,0056	1,9899	0,0657	96,73	3,27
A/C	0,27	0,06	0,33	1,9121	1,8275	0,0846	95,58	4,42
C	0,16	0,11	0,27	2,0202	1,9547	0,0655	96,76	3,24

c) Porcentaje relativo de la fracción "Ligera".-

Horizonte	% de Feldespatos	% de Cuarzo
A	4	96
A/C	5	95
C	5	95

.....////.....

...../.../.....

TABLA 1 (Continuación)

d) Conteo de los minerales "Pesados", expresados en %.-

Horizontes	OPACOS	TURMALINA	CIRCON	GRANATE	RUTILO	TITANITA	ESTAUROLITA	DISTENA	ANDALUCITA	SILIMANITA	EPIDOTA	HORNBLENDA	AUGITA	HIPERSTENA	HICAS Y CLORITAS
A	35,9	11,5	3,4	4,6	2,0	-	6,7	-	19,0	-	1,3	10,9	-	2,7	2,0
A/C	42,9	10,7	3,3	2,8	-	2,8	2,8	0,5	16,7	0,5	3,9	9,0	-	2,2	1,9
C	30,3	17,6	2,8	3,2	1,6	-	4,0	-	23,5	0,4	1,6	9,4	0,8	2,0	2,8

TABLA 2

Resultados de micromineralogía. Perfil N° 2.

a) Minerales observados en la fracción 0,5 mm. de diámetro.-

En las cuatro muestras se observa una apreciable similitud, en la proporción de minerales presentes.

Se han identificado fundamentalmente, gran cantidad de Cuarzo ordinario, acompañado de algunos Leucoxenos, Granate y trozos de Hematites en los horizontes superiores (Horizontes A_{11} y A_{12}).

b) Pérdidas después de tratamientos.-

Horiz.	Porcentaje de Pérdidas			Determinación de las fracciones "Ligeras" y "Pesadas"				
	Después del HCl	Dition.	HCl + Dition.	Peso de la muestra	Peso de los Min. "Ligeros"	Peso de los Min. "Pesados"	d 2,9 % "Ligeros"	d 2,9 % "Pesados"
A_{11}	0,09	0,11	0,20	2,0541	2,0046	0,0495	97,59	2,41
A_{12}	0,10	0,12	0,22	1,9668	1,9638	0,0030	99,84	0,15
A/C	0,06	0,14	0,20	2,0680	2,0637	0,0043	99,79	0,20
C	0,02	0,36	0,38	2,1097	2,1071	0,0026	99,87	0,12

c) Porcentaje relativo de la fracción "Ligera".-

Horizonte	% de Feldespatos	% de Cuarzo
A_{11}	4	96
A_{12}	3	97
A/C	5	95
C	2	98

.....///.....

...../.../.....

TABLA 2

(Continuación)

d) Conteo de los minerales "Pesados", expresados en %.-

Horizonte	OPACOS	TURMALINA	CIRCON	GRANATE	RUTILO	TITANITA	ESTAUROLITA	DISTENA	ANDALUCITA	SILIMANITA	EPIDOTA	HORIBLEND	AUGITA	HIPERSTENA	MICAS Y CLORITAS
A ₁₁	54,1	8,7	4,0	2,9	0,4	0,4	0,8	0,8	17,7	-	1,6	3,8	-	1,9	2,3
A ₁₂	68,7	1,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,4	20,0	-	1,4	1,9	-	0,4	2,4
A/C	62,8	6,3	2,8	1,8	0,2	0,7	1,1	0,9	11,7	-	1,6	4,2	-	3,0	2,3
C	30,2	23,2	4,6	4,6	-	-	1,1	-	31,3	-	-	3,4	-	4,6	1,1

C.- RESULTADOS FISICO-QUIMICOS

Para hacer un análisis exhaustivo y más comprensible de estos suelos, es preciso hablar comparativamente, ya que se han desarrollado sobre el mismo material arenoso Cuaternario, viniendo marcadas las diferencias principalmente por su situación topográfica.

MATERIA ORGANICA.

El primer aspecto a tener en cuenta es la materia orgánica, donde por simple inspección salta a la vista una marcada diferencia entre los primeros horizontes, habiendo después una disminución con la profundidad, disminución que se acentúa más en el perfil nº 2.

La mayor acumulación de materia orgánica del perfil nº 2 es favorecida por varios factores; en primer lugar porque es un suelo más estable, desde el punto de vista de no recibir aportaciones eólicas del material mineral como en el caso del perfil nº 1, que a pesar de ser una duna fija, por pre

sentar cierta resistencia al aire debido a su relieve, siempre recibirá aportes aunque en pequeña escala de material mineral, esto se puede observar claramente en la distribución de las fracciones dadas por el análisis granulométrico, y del cual se hablará más adelante. En segundo lugar se puede mencionar la vegetación, la cual en el suelo llano entre dunas (perfil nº 2), es más densa y con mayor follaje, lo que contribuye a un mayor aporte por unidad de tiempo, y a la estabilización de la humedad regulada por la temperatura templada de la zona, favoreciendo la mineralización de la materia orgánica, que evidentemente se observa al comprobar la relación C/N. Un tercer aspecto que pudiera mencionarse es el del lavado superficial de la materia orgánica, debido a las diferentes posiciones topográficas de estos dos suelos, ya que la duna fija (perfil nº 1), presenta una posición más alta que el "Corral" entre dunas, lo cual favorece dicho lavado en épocas lluviosas que se acumularían en las zonas bajas (perfil nº 2).

Con relación a la disminución con la profundidad de la materia orgánica, se pone de manifiesto un hecho característico, ya que en el perfil nº 2 hay una disminución gradual aunque algo elevada, pero esto es debido a las condiciones climático-biológicas a que está sometido este suelo y las cuales se mencionaron anteriormente, pero en el perfil nº 1 sucede que hay una relativa menor diferencia en el contenido de materia orgánica, debido a las condiciones a que está sometido este suelo, y es aquí donde interviene la formación del mismo, ya que a pesar de ser una duna fija, en sus primeros estadios fue una duna, la cual recibía aportes eólicos, depositándose los diferentes materiales en capas sucesivas, dando origen así al suelo hoy desarrollado.

RELACION C/N.

Dentro de este dato se puede notar que a pesar de haber una diferencia marcada en cuanto al contenido de materia orgánica, como se mencionó anteriormente, no existen prácticamente diferencias entre los dos perfiles con respecto a la relación C/N. Esta característica es debida a dos hechos fundamentales, que inciden directamente en este aspecto, siendo uno la climatología, y el otro la vegetación.

La climatología de estos suelos se caracteriza por inviernos fríos y húmedos y veranos cálidos y secos, dando origen a lo que se conoce como clima mediterráneo, y que afecta a los dos suelos por igual, favoreciendo una degradación o mineralización de la materia orgánica desde este punto de vista, similar en ambos suelos, fundamentalmente de tipo humus Mull. En el horizonte A del perfil nº 2 se aprecian fracciones de tipo moder-mulliforme. (Ver Micromorfología).

La vegetación influye en el sentido que se ha hecho mención anteriormente en el suelo nº 2, acumulándose un mayor aporte de residuos vegetales en el mismo, que con una buena y más intensa actividad biológica, facilita la degradación de esos detritus vegetales, favorecida por las ideales condiciones de humedad y temperatura.

pH Y CARBONATOS.

El pH de estos suelos es ácido, habiendo una disminución gradual de esa acidez con la profundidad, hasta el punto de llegar a ser de ligeramente neutro a neutro en el horizonte C del perfil nº 2.

Al analizar detalladamente el pH de ambos suelos, se observa que el pH en H₂O y en ClK del perfil nº 1 es muy bajo, significativo de que es un suelo pobre en bases, por ende en su complejo de cambio tendrá, relativamente un elevado

tenor de iones acidófilos, como puede ponerse de manifiesto por la diferencia entre la capacidad de cambio total y la suma de cationes cambiabiles. Esta característica se invierte a medida que se profundiza, pues ya en el horizonte C, se presenta un mayor valor del pH en H_2O , y una ligera disminución del pH en ClK, síntoma de que hay un mayor contenido de bases a pesar de tener una capacidad de intercambio relativamente baja.

En el perfil nº 2 se presentan diferencias de pH que oscilan entre los valores de 0,8 - 1,2 (H_2O - ClK). Lógicamente el bajo valor del pH en el horizonte superior del perfil nº2, se explica por su alto contenido en materia orgánica.

Observando las tablas, se aprecia asimismo, la lógica correlación entre pH y capacidad de cambio, con valores mayores en el perfil nº 2.

Con relación a los carbonatos, que estos suelos no presentan, es debido al intenso lavado a que han sido sometidos los mismos en sus procesos de formación y evolución.

ANALISIS GRANULOMETRICO.

El análisis granulométrico es el dato que corrobora toda una serie de cuestiones en el suelo, que van desde las más elementales hasta las más complejas.

En el caso de los dos suelos que estamos estudiando, se puede observar muy claramente un predominio de la fracción arena con tendencia a mayor calibre en el perfil nº 1. El porcentaje de valores de la fracción gruesa es más elevado, yendo en detrimento de las fracciones finas, tales como el limo y la arcilla.

Al ser las fracciones más finas de los suelos (el limo fino y la arcilla) las responsables de la actividad química de los mismos, y como se expresó anteriormente, hay una es

casa cantidad de ellas en ambos suelos, la fertilidad de los mismos es muy baja, mientras que las condiciones físicas de porosidad y permeabilidad son favorables, ya que provocan una buena aireación y penetración de raíces en la masa del suelo, favoreciendo en este aspecto la fertilidad física.

Por otra parte, al analizar las relaciones arena gruesa-arena fina en ambos suelos, vemos que en el perfil nº 1, el elevado contenido de arena gruesa prácticamente se mantiene en el horizonte A y en el C, disminuyendo en el A/C, mientras que hay un aumento de la arena fina en ese horizonte A/C, lo que provoca que la macroporosidad esté rellena de esa arena fina, favoreciéndose así un horizonte más compacto, que con el transcurso del tiempo puede llegar a formarse una costra, ya que disminuye la permeabilidad, provocándose acumulaciones, que de hecho suceden ya, pues al observar los contenidos de hierro, se nota una concentración mayor en este horizonte, favoreciendo la cementación ferruginosa, como sucede en áreas más o menos próximas y más antiguas que la zona de estudio.

En el perfil nº 2 sucede lo contrario, ya que a medida que se profundiza aumenta gradualmente el contenido de arena gruesa, y disminuye gradualmente la arena fina, favoreciéndose así el buen drenaje y aireación del suelo en su conjunto.

CATIONES CAMBIABLES, CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO Y SATURACION DE BASES.

Como se ha expresado anteriormente, estos suelos presentan una baja capacidad de cambio, motivado por el ínfimo contenido de arcilla, ahora bien, en el primer horizonte de ambos suelos se observa una marcada diferencia en cuanto al "valor T", con respecto a los horizontes subyacentes, viniendo dado dicho valor, por el contenido mayor de materia orgánica.

En el perfil nº 1, el calcio es el catión predominante, siendo el único que existe en el primer horizonte, y acompañado en los horizontes restantes por el sodio exclusivamente, lo que denota una baja fertilidad natural por una parte, y por otra la influencia de las marismas adyacentes y su proximidad al mar.

En el perfil nº 2 se presentan unas características algo incoherentes, ya que el catión que predomina es el calcio excepto en el primer horizonte donde su contenido es nulo, para haber un valor elevadísimo de magnesio, disminuyéndose este contenido bruscamente a cero por debajo de ese horizonte superficial. Este hecho puede ser atribuido a la materia orgánica que contiene dicho horizonte. Con respecto al sodio el otro catión que se presenta en el complejo de cambio, se notan unos contenidos variables a través del perfil, lo cual puede ser consecuencia de varios factores, como por ejemplo:

- a) para el caso del primer horizonte, el fenómeno de la "impulverización", debido a la cercanía del mar, que impregna esta atmósfera;
- b) posibles disoluciones de sales freáticas de marismas, en los períodos de lluvias e inundaciones generales;
- y c) también los detritus vegetales que se degradan en su superficie.

Con respecto al porcentaje de saturación de bases, solamente cabe señalar que el perfil nº 2, presenta valores superiores, lo que demuestra mejores características nutricionales, y de hecho un mejor medio para el desarrollo de la vegetación silvestre, característica de esa zona.

ELEMENTOS ASIMILABLES.

La fertilidad natural de estos suelos es baja, aspecto que se ha comentado ya anteriormente, y que destaca al observar los valores analíticos de las correspondientes tablas.

Relativamente se puede destacar el contenido en calcio, que es el que mayores valores presenta, disminuyendo estos con la profundidad.

Otro aspecto que se puede detectar al analizar en común todos estos valores, es que, de forma general el perfil nº 2 presenta mayores contenidos de cada uno de los elementos, horizonte por horizonte, excepto el fósforo, el cual aumenta con la profundidad, y se presenta con mayores contenidos, esto puede ser indicativo de que en el perfil nº 1, haya mayor cantidad de minerales que contengan fósforo, y que en el perfil nº 2, la vegetación existente haga un gran uso del citado elemento.

En general se puede decir que relativamente el perfil nº 2 presenta mejores contenidos de elementos asimilables, y por ende mejores condiciones de fertilidad.

Los contenidos en hierro proceden de las películas que rodean a los granos minerales del material original y de las soluciones provenientes de lavados laterales de terrenos cercanos que lo poseen, como se pone de manifiesto por las costras existentes en zonas geológicas colindantes.

TABLA 3

Resultados físico-químicos. Perfil Nº 1.

<div>Diámetro en mm. Prof. en cm.</div>	Análisis granulométrico			
	2 - 0,2	0,2 - 0,02	0,02 - 0,002	< 0,002
	% Arena G.	% Arena F.	Limo %	Arcilla %
0 - 20	80,4	13,6	2,5	3,5
20 - 50	70,1	24,2	2,0	3,5
50 -	79,2	12,6	2,0	5,5

Horizonte	Prof. (cm.)	H ₂ O. %	C %	N %	C/N	pH		CO ₃ ⁼⁼ %
						H ₂ O	ClK	
A	0 - 20	1,14	0,65	0,06	11,0	5,9	5,4	0,0
A/C	20 - 50	0,72	0,42	0,04	10,5	6,3	5,9	0,0
C	50 -	0,48	0,28	0,03	9,3	6,8	5,7	0,0

Cationes cambiabiles (meq / 100 gr. de suelo)						V %
Ca	Mg	Na	K	I		
2,0	0,0	0,0	0,0	9,04		22,1
0,8	0,0	0,2	0,0	1,80		55,5
0,4	0,0	0,25	0,0	0,90		72,2

Fe ₂ O ₃ %	
Libre	Total
0,56	1,43
0,73	2,47
0,56	1,32

Prof. (cm.)	Elementos asimilables (mgr / 100 gr. de suelo)			
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
0 - 20	4	7	40	7
20 - 50	3	7	41	6
50 -	2	6	26	6

TABLA 4

Resultados físico-químicos. Perfil N° 2.

Diámetro en mm. Prof. en cm.	Análisis granulométrico			
	2 - 0,2	0,2 - 0,02	0,02 - 0,002	< 0,002
	% Arena G.	% Arena F.	% Limo	% Arcilla
0 - 15	58,3	34,9	3,0	3,0
15 - 25	69,3	24,7	2,5	3,0
25 - 50	80,9	12,8	2,0	3,5
50 - 200	79,9	14,0	2,5	3,0

Horizonte	Prof. (cm.)	M.O. %	C %	N %	C/N	pH		CO ₃ ⁼⁼ %
						H ₂ O	ClK	
A ₁₁	0 - 15	4,58	2,66	0,24	11,1	5,0	4,2	0,0
A ₁₂	15 - 25	0,98	0,57	0,06	9,5	5,2	4,4	0,0
A/C	25 - 50	0,55	0,32	0,03	8,0	6,2	5,2	0,0
C	50 - 200	0,33	0,19	0,02	9,5	7,2	6,0	0,0

Cationes cambiables (meq/100 gr. de suelo)					
Ca	Mg	Na	K	T	V %
0,0	11,0	0,4	0,0	13,57	83,9
0,6	0,0	0,2	0,0	1,80	44,4
0,4	0,0	0,4	0,0	1,40	52,1
0,8	0,0	0,3	0,0	1,80	61,1

Fe ₂ O ₃ %	
Libre	Total
0,52	1,22
0,10	0,44
0,05	0,20
0,01	0,15

Elementos asimilables (mg. / 100 gr. de suelo)				
Prof. (cm.)	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
0 - 15	1	11	72	22
15 - 25	1	7	36	7
25 - 50	2	5	26	10
50 - 200	3	6	22	3

V. BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDRE, T. y PINILLA, A. 1968. Algunas modificaciones en las técnicas aplicadas en el estudio mineralógico de arenas. An. Edaf. y Agrob. T. XXVII nº 7-8 pp. 563-567.
- ALLIER, C.; GONZALEZ BERNALDEZ, F. y RAMIREZ DIAZ, L. 1974. Mapa ecológico de la Reserva Biológica de Doñana. División de Ciencias del C.S.I.C. Estación Biológica de Doñana. Sevilla.
- ALLIER, C.; GARCIA NOVO, F.; RAMIREZ DIAZ, L. y TORRES MARTINEZ, A. 1975. Dynamique actuelle et végétation du système littoral de Doñana (Golfe de Cádiz). C.R.S. Biogéographique Française, 440-442 : 95-111.
- ALTEMÜLLER, M.J. 1962. Improvement of the technique of embedding and grinding in the preparation of thin sections of soils by means of Vestopal (G.). Z. Pflanzenernähr. Düng., Bodenk., 49 : 164-177.
- BECKMAN, W. and GEYGER, E. 1967. Entwurf einer Ordnung der natürlichen Hohlräume, Aggregat und Strukturformen im Boden. In: Die Micromorfometrische Bodenanalyse. Ed. W. Kubiena. Enke Verlag Stuttgart, pp. 163-188.
- BOUMA, A.H. 1969. Methods for the study of sedimentary structures. Wiley and Sons, New York.

- BREWER, R. 1964. Fabric and Minerals Analysis of Soils. Wiley and Sons, Sidney, pp. 470.
- BURRIEL, F. y HERNANDO, V. 1950. Nuevo método para determinar el fósforo en los suelos. Anal. Edaf. y Agrob. 9, 611 - 621.
- CLEMENTE SALAS, L. 1973. Propiedades, Génesis y Clasificación de suelos de terrazas del Guadalquivir. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias. Sec. de Química. Universidad de Sevilla. España. pp. 82-86.
- DABIN, B. 1966. Application des dosages automatiques à l'analyse des sols. 2^e partie: Attaque triacide (aluminium, fer, titane), Fer total, Fer libre. Cahier O.R.S.T.O.M. sér. Pedol., 1, p. 77.
- DE LEENHEER, L.; VAN RUYMBEKE, M. et MAES, L. 1955. L'analyse mécanique au moyen de l'hydromètre à chaîne. Silic. Indust. 20 : 237 - 243.
- DUCHAFOUR, Ph. 1970. Précis de Pédologie. Masson et Cie. Paris.
- ENDREDY, A.S. 1963. Estimation of free iron oxides in soils and clays by a photolytic method. Clay. Miner. Bull, 5, p. 29.
- ESWARAN, H. and BAÑOS, C. 1976. Related distribution patterns in soils and their significance. An. Edaf. y Agrob. Madrid.
- F.A.O. 1968. Guía para la descripción de perfiles de suelos. MI/70805. Roma.
- GABRIEL, A. y COX, E.P. 1929. A staining method for the quantitative determination of certain rock minerals. Am. Mineralogist. 14, 290.
- GONZALEZ BERNALDEZ, F.; GARCIA NOVO, F. y RAMIREZ DIAZ, L. 1975. Analyse Factorielle de la végétation des dunes de la Reserve Biologique de Doñana (Espagne). L'Analyse numerique des données floristiques. Ier. J. of Bot. 24 (2-3) : 1-15.
- HERNANDO, V. y SANCHEZ CONDE, P. 1954. Estudio del pH en suelos de distintas características. An. Edaf. y Fisiol. Veg. XIII : 737.

- HOYOS, A. 1964. "Génesis y desarrollo del suelo": Los agentes formadores y los procesos de movilización y acumulación de sustancias. Conf. Curso Int. Edaf. y Biol. Veg. Sevilla. (Ciclostil).
- I.G.M.E. 1972. Memorias de las hojas 80-81 del Mapa Geológico de España. E. 1/200.000 Ayamonte - Huelva. Primera Edición.
- JACKSON, M.L. 1958. Soil Chemical Analysis. Constable and Cie. Ltd. London.
- JENNY, H. and RETEMEIER, R.F. 1935. Ionic exchange in relation to the stability of colloidal systems. J. Phys. Chem. 39, 593-604.
- JENNY, H. 1935. The clay content of the soil as related to climate factors, particularly temperature. Soil Sci. 40, 111-128.
- JENNY, H. 1941. Factors of soil formation. Mc Graw Hill, New York - London.
- JENNY, H. 1961. Derivation of state factor equations of soils and ecosystems. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 23 : 152-156.
- JONGERIUS, A. and HEINTZ BERGER, G. 1963. The preparation of mammottlosized thin section. Neth. Soil Surv. Inst. Soil Serv. Paper, 1, p. 37.
- KELLER, W.D. y CUEN PU TING. 1950. The petrology of a specimen the perry form shale. Journal of Sedimentary Petrology. Vol. 20, núm. 3, pp. 123-132.
- KUBIENA, W.L. 1938. Micropedology. Amer., Iowa. U.S.A.
- KUBIENA, W.L. 1944. Suelo y formación del suelo desde el punto de vista biológico. C.S.I.C. Madrid.
- KUBIENA, W.L. 1948. Entwicklung des Bodens. Springer-Verlag. Wien.
- KUBIENA, W.L. 1952. Claves sistemáticas de suelos. C.S.I.C. Madrid.
- MUCKENHAUSEN, E. 1954. Über die Geschichte der Böden. Geol. J.B. 69 : 501-516.
- O.R.S.T.O.M. 1963-1967. Classifications des sols.. Travaux C.P.C.S., Paris.

- PEREZ MATEOS, J. 1965. Análisis mineralógico de arenas. C.S.I.C. Madrid.
- PIPER, C.S. 1950. Soil and Plant Analysis. Univ. of Adelaide.
- RAMIREZ DIAZ, J. y TORRES MARTINEZ, A. 1977. Tipología y Dinámica de los complejos ambientales del sistema de dunas móviles de la Reserva Biológica de Doñana (Huelva). Boletín de la Estación Central de Ecología. Vol. 6, núm. 11. Madrid.
- RIVAS, O. y col. 1961. II Reunión Sedimentología C.S.I.C. Madrid.
- SCHOLLENBERGER, C.J. y SIMON, R.H. 1945. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil Ammonium acetate method. Soil Sci. 59 : 13.
- SCHWARZENBACH, G. 1959. Las complexonas en el análisis químico. Ed. Atlas, pp. 71-74. Madrid.
- SOIL SURVEY STAFF. 1951. Soil Survey Manual. U.S. Dept. Agric. Handb. 18, p. 503.
- SOIL SURVEY STAFF. 1967. Soil Classification. A. comprehensive System, 7th. Aprox. U.S.D.A. Supplement.
- SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil Taxonomy. U.S.D.A.
- STOOPS, G. 1968. Micromorphology of some characteristic soils of the Lower Congo (Kinshasa). Pedologie (Gent). 18 : 110-149.
- STOOPS, G. 1971. Description and Classification of crystalline and microcrystalline minerals in soils and soil-like material. Moscow Meeting Micromorphology. Int. Working Group on Soil Micromorphology.
- TERRY, R.D. and CHILINGER, C.V. 1955. Summary of concerning some additional aids in studying sedimentary formations. by M.S. Shvetson: J. Sediment. Petrol. 25 (3) : 229-234.
- WALKLEY, A. and BLACK, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration method. Soil Sci. 37 : 29-38.